UNIVERSITY
OF
TORONTO
LIBRARY

Digitized by the Internet Archive
in 2025 with funding from
University of Toronto

https://archive.org/details/34444006664056_0

E. Haselhoff und E. Blanck

Lehrbuch der Agrikulturchemie

Lehrbuch der Agrikulturchemie

herausgegeben von

Professor Dr. E. Haselhoff und **Professor Dr. E. Blanck**

Direktor der landwirtschaftlichen Versuchsanstalt in Harleshausen

Direktor des agrikulturchemischen und bodenkundlichen Instituts der Universität Göttingen

---

II. Teil

Düngemittellehre

von

Dr. E. Haselhoff

Direktor der landwirtschaftlichen Versuchsanstalt in Harleshausen

223350
19. 6. 28

Berlin

Verlag von Gebrüder Borntraeger

W 35 Schöneberger Ufer 12 a

1928

Alle Rechte,
insbesondere das Recht der Übersetzung in fremde Sprachen, vorbehalten
Copyright 1928 by Gebrüder Borntraeger in Berlin

Germany

Druck von E. Buchbinder (H. Duske), Neuruppin

Vorwort

Die „Düngemittellehre“ soll in erster Linie auch den praktischen Bedürfnissen Rechnung tragen und die Ergebnisse der agrikulturchemischen Forschung dem Praktiker näher bringen. Sie muß sich demgemäß von theoretischen Erwägungen fern halten, soweit diese in den bisherigen Untersuchungen und Erfahrungen noch keine sichere Stütze haben. Deshalb wird auch darauf verzichtet, auf theoretische Erörterungen näher einzugehen, welche heute noch nicht zu einem Abschluß geführt haben. Damit ist auch dem Studierenden gedient, für den dieses Buch eine Grundlage seiner Arbeit sein möge, indem ihm nur vorgetragen wird, was bisher der Prüfung standgehalten hat.

Da es sich bei den Darlegungen im wesentlichen um die in langjähriger Tätigkeit gesammelten und vielfach durch eigene Beobachtungen und Versuche gestützte Erfahrungen handelt, so darf erwartet werden, daß das Buch zu weiterer Arbeit anregt, dem Studierenden ein Wegweiser in seinem Studium und dem praktischen Landwirt ein guter Ratgeber in seinem Berufe werden wird.

Harleshausen, im August 1927

E. Haselhoff

Inhaltsverzeichnis

A. Düngung

Seite

I. Grundlage der Düngung 1
II. Feststellung des Düngungsbedürfnisses des Bodens 4

B. Düngemittel

I. Bedeutung des Wassers für die Wirkung der Düngemittel . . . 22
II. Die natürlichen Düngemittel 24
1. Allgemeine Bedeutung unter Berücksichtigung der Kohlensäurewirkung 24
2. Stallmist und Jauche 30
a) Menge und Zusammensetzung der tierischen Exkremente 30
b) Einstreumittel 34
c) Menge und Zusammensetzung des Mistes 38
d) Veränderungen des Stallmistes beim Aufbewahren 40
e) Getrennte Aufbewahrung von Kot und Harn 48
f) Aufbewahrung des Kot und Harn enthaltenden Stallmistes 50
α) Stallmist 50
β) Jauche 56
γ) Das Gülleverfahren 58
g) Konservierung von Stallmist und Jauche 59
α) Stallmist 59
β) Jauche 63
h) Anwendung und Wirkungswert von Stallmist und Jauche 67
i) Geldwert des Stalldüngers 83
3. Die Exkremente des Menschen 85
4. Kompost 87
5. Ernterückstände 90
6. Gründüngung 92
III. Künstliche Düngemittel 105
1. Allgemeines über die Anwendung 105
2. Einfluß der Düngemittel auf die Bodenreaktion 112
3. Stickstoffdünger 115
a) Stickstoffbedarf der Kulturböden 115
b) Stickstoffbedürfnis der Pflanzen 116
c) Wirkung der verschiedenen Stickstoffdünger 117
d) Besondere Wirkungen des Stickstoffs auf die Pflanzen 118
e) Gewinnung künstlicher Stickstoffdünger 120
f) In der Natur vorkommende Stickstoffdünger 127
g) Stickstoffhaltige Abfälle 128
h) Zusammensetzung und Anwendung der Stickstoffdünger 129

Seite

4. Phosphorsäuredünger 142
   a) Phosphorsäurebedürfnis der Kulturböden 143
   b) Phosphorsäurebedürfnis der Pflanzen 152
   c) Wirkung der verschiedenen Phosphorsäureformen 154
   d) Gewinnung phosphorsäurehaltiger Düngemittel 156
   e) Zusammensetzung und Anwendung der Phosphorsäuredünger . . . 163
5. Kalidünger 166
   a) Kalibedürfnis der Kulturböden und Wirkung der Kalisalze auf den Boden 167
   b) Kalibedürfnis der Pflanzen 171
   c) Wirkung der verschiedenen Kaliverbindungen 176
   d) Gewinnung kalihaltiger Düngemittel 176
   e) Anwendung der Kalidünger 181
6. Kalkdünger 185
   a) Kalkbedürfnis der Kulturböden und Wirkung des Kalkes auf den Boden 185
   b) Kalkbedürfnis der Pflanzen 190
   c) Wirkung der verschiedenen Kalkdünger 191
   d) Wirkung des Kalkes auf die Ausnutzung anderer Pflanzennährstoffe 192
   e) Gewinnung kalkhaltiger Düngemittel 193
   f) Anwendung der Kalkdünger 198
7. Düngemittel mit mehreren Pflanzennährstoffen 200
   a) Unvermischte Düngemittel 201
   b) Mischdünger 203
8. Reiz- oder Stimulationsstoffe 205

Literaturnachweis 207
Autorenverzeichnis 209
Sachverzeichnis 212

Berichtigung

Seite 125, Zeile 6 von unten: Statt „nahe“ zu lesen:
in der technischen Durchführung nahe und sei deshalb hier angeführt, obgleich es sich um die Ausnutzung von Kokereigasen handelt.

A. Düngung

I. Die Grundlagen der Düngung

Die Produktionskraft eines Bodens ist außer von der Bodenbeschaffenheit, von der Witterung und von anderen äußeren Faktoren in erster Linie mit von den im Boden für die Ernährung der Pflanzen verfügbaren Nährstoffmengen abhängig. Soweit diese Nährstoffmengen nicht aus dem Boden selbst, aus Pflanzenresten oder aus der Luft geliefert werden können, müssen sie dem Boden durch besondere Stoffe, die Düngemittel, zugeführt werden. Man bezeichnet diese Zufuhr von Düngemitteln, durch die dem Boden die Pflanzennährstoffe ersetzt werden, welche ihm durch die geernteten Pflanzenmassen oder auch durch sonstige Vorgänge im Boden, z. B. Versickerungen entzogen werden, die aber für das Pflanzenwachstum und die Erzielung von Ernten notwendig sind, als Düngung. Da aber durch diese Düngemittel auch noch besondere Einwirkungen auf den Boden ausgeübt werden können und infolgedessen mit Umsetzungen im Boden zu rechnen ist, die auf den für die Ernährung der Pflanzen verfügbaren Nährstoffvorrat nicht ohne Einfluß sind und außerdem auf die Bodenbeschaffenheit einwirken, so dürfte zweckmäßiger und allgemeiner als Düngung die Zufuhr von Stoffen zum Boden zu bezeichnen sein, durch die der Vorrat des Bodens an von den Pflanzen aufnehmbaren Nährstoffen, sei es unmittelbar oder mittelbar, ergänzt und erhöht wird.

Die Menge dieser Nährstoffe, also die Stärke der Düngung, die zur rechten Ausnützung der ursprünglichen Bodenkraft durch die Pflanzen erforderlich ist, muß, wie die früheren Ausführungen über den Nährstoffbedarf der Pflanzen und die Zusammensetzung des Bodens erkennen lassen, sehr verschieden sein. Außer dem wechselnden Nährstoffbedarf der Pflanzen spielen dabei die Bodenart, die Bodenbeschaffenheit, die Bearbeitung des Bodens, die Vorfrucht, die klimatischen Verhältnisse usw. eine große Rolle; diese verschiedenen Verhältnisse können hier nicht im einzelnen gewertet werden; sie sollen bei den späteren Erörterungen mit berücksichtigt werden. Aber die Menge der Nährstoffe allein ist nicht entscheidend für die Höhe des Ertrages und damit ihrer Ausnützung, auf die es uns ankommt, vielmehr bestehen zwischen der von

den Pflanzen aufgenommenen Nährstoffmenge und dem Ernteertrage bestimmte Gesetzmäßigkeiten, die das Verhältnis der Nährstoffe regeln, welche in einer für einen besonderen Fall zweckmäßigen Düngung notwendig sind. Diese Gesetzmäßigkeit hat J. v. Liebig zuerst ausgesprochen. Wenn auch v. Liebig als Folge seines Streites mit den Anhängern der damals herrschenden Humustheorie in seiner Mineralstofftheorie den Ersatz der Mineralstoffe nach unserer heutigen Auffassung zu sehr in den Vordergrund gerückt und bei seinem Gesetz des Minimums an diesen Mineralstoffersatz und die Zuführung der durch die Ernte dem Boden entzogenen Nährstoffe in erster Linie gedacht hat, was nach unserer heutigen Erkenntnis zur Erklärung des Nährstoffbedürfnisses der Pflanzen nicht ausreicht, so hat er doch in seinem Gesetz des Minimums eine allgemeine Grundlage für die Düngung gegeben, welche nach der damaligen Auffassung der Nährstoffaufnahme durch die Pflanzen als sachgemäß angesehen werden konnte. Dieses Gesetz des Minimums von J. v. Liebig besagt: Der Ertrag richtet sich nach demjenigen Nährstoff, der im Minimum, d. h. in geringster Menge in bezug auf den Bedarf der Pflanzen vorhanden ist. Wenn auch dieses Gesetz des Minimums später eine allgemeinere Auslegung erfahren hat, so hat es doch in seiner Grundbedeutung unsere Düngerlehre oder unsere Ansichten über die richtige Anwendung der Düngestoffe beherrscht und gilt auch heute noch vielfach als Richtschnur für die Beurteilung der im gegebenen Falle notwendigen Nährstoffmenge und der danach zu treffenden Düngungsmaßnahmen. Die Richtigkeit dieses Liebigschen Gesetzes des Minimums hat im letzten Jahrzehnte auf Grund seiner Versuchserfahrungen E. A. Mitscherlich bestritten. Er sieht die Gesetzmäßigkeit für die Nährstoffaufnahme in seinem Gesetz der physiologischen Beziehungen, das er in Übereinstimmung mit B. Baule als Wirkungsgesetz der Wachstumsfaktoren bezeichnet, darin, daß der Pflanzenertrag in seiner Höhe nicht von einem einzigen Wachstumsfaktor bestimmt wird, wie nach dem Liebigschen Minimumgesetz angenommen werden muß, sondern von sämtlichen Wachstumsfaktoren bedingt ist. Wenn man die Wirkung eines Wachstumsfaktors feststellen will, so muß man alle anderen Faktoren, einerlei, welcher Art sie sind, konstant erhalten; jede Änderung eines dieser Faktoren hat auch eine veränderte Wirkung des zu prüfenden Wachstumsfaktors zur Folge. Wenn diese Beobachtung Mitscherlichs für die Wirkung der Wachstumsfaktoren allgemein zutrifft, also ein Gesetz dieser Wirkung darstellt, dann ist es für die Steigerung der Pflanzenerträge gleich, welcher Wachstumsfaktor sich ändert; es ist nicht nötig, daß es der in geringster Menge vorhandene Nährstoff ist. Auch die Höhe der anderen Wachstumsfaktoren ist dabei ohne Einfluß, da diese Faktoren konstant gehalten werden müssen. Mitscherlich

formuliert das Wirkungsgesetz der Wachstumsfaktoren danach in folgender Weise: „Der Pflanzenertrag steigt mit der Steigerung eines jeden Wachstumsfaktors mit einer dem betreffenden Faktor eigenen Intensität und zwar derart, daß die Ertragssteigerung mit der Zuführung dieses Wachstumsfaktors dem an einem Höchstertrage fehlenden Ertrage proportional ist.“ Er findet hierfür einen Ausdruck in der Formel: $y = A(1-e^{c-x})$, in der y die Steigerung des Pflanzenertrages bei der Änderung des variablen Wachstumsfaktors x, A den erreichbaren Höchstertrag, c den Proportionalitätsfaktor oder Wirkungsfaktor des Wachstumsfaktors (Nährstoff), der nach den Versuchen Mitscherlichs konstant ist, und e die Basis des Logarithmus bedeutet. Je größer die dem zu prüfenden Wachstumsfaktor eigene Intensität und je geringer die Menge dieses Faktors ist, die der Pflanze davon bereits zur Verfügung steht, desto stärker ist die Ertragssteigerung. Wenngleich für Mitscherlich die Richtigkeit dieses Wirkungsgesetzes der Wachstumsfaktoren außer Zweifel steht, so weist er doch selbst auf gewisse Unstimmigkeiten hin, die noch durch weitere Untersuchungen geklärt werden müssen.

Wenn wir versuchen, uns den Verlauf der Ertragssteigerungen durch die Düngung nach diesen beiden Gesetzen klar zu machen, so können wir ohne weiteres erwarten, daß diese abweichende Auffassung über die Wirkung der Nährstoffe uns ein verschiedenes Bild der Ertragssteigerung geben wird. Nach dem Gesetz des Minimums von J. v. Liebig müssen wir einen geradlinigen Verlauf der Ertragssteigerung annehmen, der aber nicht mit der steigenden Düngung bis ins Unendliche geht, sondern durch die Einwirkung der anderen, bei der Ertragssteigerung mitwirkenden Faktoren wie Wasser, Wärme usw., die wir nicht beeinflussen können, oder auch wenn bei anhaltender Steigerung des einen Nährstoffes die anderen Nährstoffe in ein ungünstiges Verhältnis dazu geraten, eine Grenze findet. Da hiernach die Proportionalität, die nach dem Liebigschen Gesetz zwischen Nährstoff- und Ertragssteigerung besteht, nur für den ersteren Teil der Ertragssteigerung vorhanden ist, so will Mitscherlich diesem Gesetz nur eine beschränkte Gültigkeit zuerkennen. Demgegenüber soll nach seinem Wirkungsgesetz der Wachstumsfaktoren die Ertragssteigerung nach und nach geringer werden und ihr Verlauf sich als eine Kurve darstellen. Neben diesem Wirkungsgesetz der einzelnen Wachstumsfaktoren haben wir nach Mitscherlichs Ansicht noch ein Pflanzenwachstumsgesetz, nach dem der Ertrag der Pflanzen mit dem Fortschreiten des Wachstums sich steigert. Durch diesen Einfluß der Wachstumszeit werden alle Wachstumsfaktoren geändert und nicht konstant bleiben, sodaß dadurch auch die Ertragssteigerung nicht mehr nach dem Wirkungsgesetz verläuft. In dieser Weise erklärt Mitscherlich den

Verlauf der Ertragssteigerung in einer S-förmigen Kurve, wie E. J. Russel ihn allgemein annimmt. Auch O. Nolte ist geneigt, die Lösung dieser Frage mehr im Sinne Russels bezw. zusammen mit dem geradlinigen Verlauf nach dem Liebigschen Minimumgesetz zu suchen; er führt für diese Ansicht besonders die Beobachtung an, daß die Wirkung der Düngung sich erst bei einer gewissen Stärke der Düngung zeigt und sehr hohe Düngergaben nicht in demselben Grade wie mittlere Gaben, geringe Mengen wenig oder gar nicht wirken. Je nach der Bodenbeschaffenheit, Pflanzenart und anderen Faktoren, die die Wirkung der Düngung beeinflussen, werden sich diese Verhältnisse anders gestalten und würden damit die Voraussetzungen für die Gültigkeit des Wirkungsgesetzes der Wachstumsfaktoren nicht gegeben sein. Hier bleibt noch ein weites Feld für Untersuchungen und Versuche. Vielleicht zeigt der Hinweis Mitscherlichs, daß auch die von ihm als Pflanzenwachstumsgesetz bezeichnete Beobachtung der Einwirkung der Wachstumszeit den Verlauf der Ertragssteigerung beeinflußt, den Weg, der zu einer einheitlichen Auffassung über den Verlauf der Ertragssteigerung führt. Wir dürfen aber heute wohl schon sagen, daß das starre Festhalten des geradlinigen Verlaufes nach dem v. Liebigschen Minimumgesetz nicht gerechtfertigt ist.

II. Die Feststellung des Düngungsbedürfnisses des Bodens

Wenn auch über den Verlauf der Ertragssteigerungen noch Meinungsverschiedenheiten bestehen, so muß doch allein die Tatsache, daß hierbei bestimmte Gesetzmäßigkeiten zugrunde liegen, zu der Überzeugung führen, daß die Entscheidung über die Anwendung der Düngemittel nicht dem blinden Zufall überlassen bleiben darf, sondern dabei diesen Gesetzmäßigkeiten Rechnung getragen werden muß. Eine Vorbedingung hierfür ist, daß wir das Nährstoffbedürfnis der Pflanzen und das Düngungsbedürfnis des Bodens kennen. Über das erstere ist früher (Bd. I) das Nähere gesagt. Für die Feststellung des Düngungsbedürfnisses des Bodens hat sich bisher trotz vielfacher Bemühungen nach den verschiedensten Richtungen, Aufschluß über den Löslichkeitszustand der Pflanzennährstoffe im Boden zu gewinnen, kein sicheres Verfahren finden lassen. Man ist daher über die Menge der im Boden vorhandenen, durch die Pflanzen ausnutzbaren Nährstoffe im Zweifel und muß bei stärkerer Düngung damit rechnen, daß ein Teil der zugeführten Nährstoffe für die Ertragssteigerung nicht ausgenutzt werden kann. Daß dieses für die Wirtschaftlichkeit der Düngung von außerordentlicher Bedeutung ist, bedarf keiner weiteren Darlegung; daraus erklärt sich auch das stets wiederkehrende Bestreben, hierüber Aufschluß zu erhalten, damit ein sicheres Urteil über das Düngungsbedürfnis eines Bodens möglich

ist. Diese Erkenntnis ist deshalb erschwert und mit Sicherheit vielleicht überhaupt nicht zu erlangen, weil es sich bei der Lösung der Pflanzennährstoffe im Boden nicht allein um chemische Umsetzungen handelt, sondern mehr noch dabei biologische Prozesse mitspielen, die durch das Leben im Boden, das durch die darin wachsenden Pflanzen, durch Wasser, Wärme, Luft und die hierdurch verursachten Vorgänge beeinflußt wird, bedingt werden. Die Untersuchungen in dieser Richtung sind vornehmlich dreierlei Art gewesen; man hat versucht:

1. durch chemische Lösungsmittel, Dämpfen oder durch sonstige Einwirkungen auf den Boden die für die Pflanzen in aufnehmbarer Form vorhandenen Nährstoffe zu lösen,

2. diese Nährstoffe durch Pflanzen dem Boden zu entziehen und aus dem Gehalt der Pflanzen daran auf die Menge dieser Nährstoffe zu schließen,

3. aus dem in einem Vegetationsversuche erzielten Ertrage das Düngungsbedürfnis des Bodens zu ermitteln.

Es lag nahe, den Lösungsvorgängen im Boden durch die Anwendung geeigneter chemischer Lösungsmittel nachzugehen, denn es ist ohne weiteres klar, daß wir durch die Behandlung des Bodens mit Säuren verschiedener Art und wechselnder Konzentration Aufschluß über die Zusammensetzung des Bodens und auch einen Einblick in die Bindung der festgestellten Bodenbestandteile erhalten. Wir wissen, daß wir durch die aufeinanderfolgende Behandlung eines Bodens mit konzentrierten Lösungen von Salzsäure, Schwefelsäure und Flußsäure Ergebnisse erzielen, die Schlußfolgerungen auf die Bodenkonstitution zulassen. Aber diese Untersuchungen geben uns keinen Anhalt für die Menge der Bestandteile, die in dem Boden in einem für die Pflanzen aufnehmbaren Zustande vorhanden sind. Liebscher wollte für das von den Pflanzen aufnehmbare Kali in dem in kochender Salzsäure löslichen Anteil ein Maß haben und zwar rechnete er bei 0,15% Kali und weniger mit einem starken, bei 0,2—0,4% Kali mit einem mittleren Kalibedürfnis, während bei 0,5% Kali ein Bedürfnis für Kali nicht vorliegen sollte. Diese Annahme Liebschers hat sich nicht allgemein als richtig erwiesen. Unsere Versuche mit Böden, die durch schnell aufeinanderfolgende Rübenernten des leichter löslichen Kalis beraubt waren, aber noch 0,37% in 10%iger Salzsäure lösliches Kali enthielten, zeigten sowohl im Gefäß- wie im Feldversuche ein starkes Kalibedürfnis. Dieses ist keine vereinzelt dastehende Feststellung, so daß ich entgegen der von Liebscher und auch sonst geäußerten Ansicht annehmen muß, daß auch für Kali nur die Ermittelung des leichtlöslichen Anteils, nicht aber die in stärkerer Säure lösliche Kalimenge eine sichere Grundlage für die Beurteilung des Kalibedürfnisses des Bodens geben kann. Damit verliert allerdings die Feststellung des in stärkerer Säure lös-

lichen Kalis als Mittel, einen Maßstab für die Kalibedürftigkeit des Bodens zu geben, an Bedeutung. Ob wir auf dem Wege, den O. Lemmermann uns zeigt, durch die Ermittelung der relativen Löslichkeit des in 10%iger Salzsäure löslichen Kalis eher zum Ziele kommen, erscheint mir zwar nach den bisherigen Erfahrungen nicht sehr wahrscheinlich, muß aber wegen der bisher von Lemmermann erzielten Ergebnisse noch weiter geprüft werden, bevor darüber abschließend geurteilt werden kann.

M. Märcker hat hier einen anderen Weg gezeigt; er hatte gefunden, daß in dem tonigen Anteil des Bodens, den uns die abschlämmbaren Bestandteile des Bodens angeben, im wesentlichen das von den Pflanzen aufnehmbare Kali vorhanden ist und mit der Menge dieser abschlämmbaren Bestandteile der Kalivorrat des Bodens steigt und fällt. Daraus folgert Märcker, daß man aus dem Gehalt an abschlämmbaren Bestandteilen auf die Menge des von den Pflanzen aufnehmbaren Kalis schließen könne. Die Erfahrung hat gelehrt, daß gerade in den kalireicheren Böden, die reich an tonigen, abschlämmbaren Bestandteilen sind, die Löslichkeit des Kalis geringer ist und daher das Kalibedürfnis in diesen Böden höher sein kann, als in den kaliärmeren leichteren Böden mit geringeren Mengen abschlämmbarer Bestandteile. Es versagt also auch dieser Weg zur Bestimmung des leicht löslichen, von den Pflanzen zu ihrer Ernährung verwertbaren Anteils des Bodenkalis. Schon vor Märker hatte E. Wolff auf die Bedeutung der tonigen Substanz im Boden für die Beurteilung der Kalibedürftigkeit des Bodens hingewiesen, und zwar wollte er hierfür eine Unterlage in dem Verhältnis finden, in dem das durch Salzsäure gelöste Kali zu der gelösten Tonerde steht; er nimmt an, daß je mehr Kali im Ton vorhanden ist, desto leichter das Kali löslich sein wird.

In ähnlicher Weise hat Liebscher in dem Verhältnis der Phosphorsäure zu Eisenoxyd und Tonerde eine Unterlage für die Beurteilung der Phosphorsäure gesehen und angenommen, daß dieses Verhältnis für die Löslichkeit der Phosphorsäure im Boden um so günstiger ist, je weniger Eisenoxyd + Tonerde auf 1 Teil Phosphorsäure entfällt, denn die Phosphorsäure der Eisen- und Tonerde-Phosphate ist für die Pflanzenwurzeln schwer löslich. Ohne die von Liebscher aufgestellten Verhältniszahlen näher zu erörtern, sei doch an dieser Stelle schon hervorgehoben, daß dieses Ergebnis Liebschers für die Beurteilung der Wirkung der Phosphorsäure nicht unwichtig ist; es bestätigt die allgemeine Erfahrung aus wissenschaftlichen und praktischen Versuchen, daß diejenigen Böden, die durch einen höheren Gehalt an Eisenoxyd, Tonerde, Kalk und Magnesia ausgezeichnet sind, ihre Phosphorsäure an die Pflanzen schwerer abgeben, als die an diesen Verbindungen ärmeren Böden, auch wenn die ersteren Böden reicher an Gesamtphosphorsäure sind. Darin haben wir die Erklärung dafür, daß die schweren Böden

trotz ihres höheren Phosphorsäuregehaltes dennoch mehr auf eine Phosphorsäuredüngung reagieren, als die an Phosphorsäure ärmeren Böden, die zumeist auch zu den sogenannten leichteren Böden zählen. Wenn diese aus den bereits Jahrzehnte zurückliegenden Versuchen Liebschers folgende Erkenntnis mehr Allgemeingut geworden wäre, würde schon manche unrichtige Beurteilung des Phosphorsäure-Bedürfnisses der Böden unterblieben sein; jedenfalls geht daraus hervor, daß die Feststellung der in konzentrierter Säure löslichen Phosphorsäure für die Erkennung der Phosphorsäurebedürftigkeit der Böden wenig Bedeutung hat.

Bei dem im allgemeinen negativen Erfolg der Anwendung stärkerer Säuren zur Ermittelung des Düngungsbedürfnisses der Böden für die Pflanzennährstoffe genügt es, die Wege, die hierbei verfolgt worden sind, in der vorstehenden Weise kurz zu skizzieren, und erübrigt es sich hier, diese Versuche eingehend zu besprechen. Es kann nicht überraschen, daß versucht worden ist, dem Ziele, die für die Pflanzenwurzeln aufnehmbaren Nährstoffe festzustellen, durch Behandeln des Bodens mit verdünnter Säure näher zu kommen, da es sich bei den lösend wirkenden Wurzelausscheidungen um solche von saurem Charakter handelt. Ulbricht und nach ihm E. Wolff und Jani wollten gefunden haben, daß Beziehungen zwischen der Menge der durch Kohlensäure gelösten Bodenbestandteile und der Konstitution des Bodens bezw. der Bodenfruchtbarkeit bestehen. Da infolge der Zersetzung der organischen Stoffe im Boden stets Kohlensäure vorhanden ist, so lag der Gedanke sehr nahe, daß wir in der Kohlensäure ein brauchbares Lösungsmittel für die Bodenbestandteile haben, welche die Pflanzenwurzeln sich erschließen können. Es hat auch nicht an Untersuchungen in dieser Richtung gefehlt. In der neueren Zeit hat vor allem E. A. Mitscherlich die Einwirkung der Kohlensäure auf den Boden geprüft, und ist es sein besonderes Verdienst, daß er den Einfluß der einzelnen Faktoren, die für die Einwirkung der Kohlensäure auf die Bodenbestandteile von Bedeutung sein können, wie Kohlensäuremenge, Dauer der Einwirkung, Temperatur untersucht hat. Mitscherlich ging bei seinen Versuchen davon aus, daß von den Wurzelausscheidungen hauptsächlich nur die Kohlensäure als Lösungsmittel für die Mineralstoffe des Bodens anzusehen ist, und kam dementsprechend auf Grund seiner Versuchsergebnisse zu dem Schluß, daß das Maximum der unseren Kulturpflanzen zur Verfügung stehenden Salze des Bodens die in mit Kohlensäure gesättigtem Wasser löslichen Salze bilden. Diese Ansicht Mitscherlichs ist nicht ohne Widerspruch geblieben und zwar ging dieser hauptsächlich dahin, daß es sich bei den lösenden Kräften des Bodens nicht nur um Kohlensäure handelt, sondern daß dabei auch noch andere Agentien mitwirken, deren Zusammenarbeiten erst die Löslichkeit der Nährstoffe im ganzen verursacht. Besonders Pfeiffer hat auf die Mitwirkung

anderer organischer Säure hingewiesen. König konnte als solche Säuren Ameisensäure und Essigsäure feststellen. Maschhaupt möchte eher den Schluß ziehen, daß die Stoffe, die sich in mit Kohlensäure gesättigtem Wasser lösen, den Pflanzen im ungünstigsten Falle zu Gebote stehen. Im übrigen ist auch der Effekt für die verschiedenen Pflanzengruppen verschieden; es genügt zum Beweise hierfür auf das verschiedene Verhalten der Gramineen und Leguminosen zu verweisen. Bei unseren Versuchen im unverwitterten Gestein wurden in einem Jahre aus Buntsandstein unter ganz gleichen Vegetationsbedingungen aufgenommen durch:

	Kalk	Magnesia	Kali	Phosphorsäure
	g	g	g	g
a) Erbse	0,67	0,22	0,31	0,32
b) Gerste	0,02	0,02	0,03	0,02

In allen Fällen sind durch die Erbse ganz erheblich größere Mengen dieser Bestandteile aufgenommen. Dasselbe gilt auch für andere Pflanzen und für alle Gesteine und Bodenarten.

Ich habe bei meinen Untersuchungen über die Löslichkeit der Bodennährstoffe die Wirkung der Kohlensäure geprüft und bin dabei bemüht gewesen, Beziehungen zwischen den gelösten Nährstoffmengen und dem Ertrage zu finden. Aus den Versuchen mit unverwittertem Gestein und zwar Buntsandstein, Basalt, Muschelkalk und Grauwacke, die in meinem engeren Arbeitsgebiet als bodenbildendes Gestein in Frage kommen, folgt, daß sich zwischen den durch Kohlensäure gelösten und den von den Pflanzen aufgenommenen Nährstoffen bezw. den in den Gesteinen erzielten Ernten Beziehungen nicht ergeben haben. Versuche mit Ackerboden führen zu demselben Schluß, wie die folgenden Zahlen veranschaulichen. Die Böden waren Buntsandsteinverwitterungsböden. Versuchspflanze war Hafer. Die Versuchsverhältnisse waren dieselben. Es wurde gefunden:

Boden	Nach den Erträgen bedürftig für		Gelöst durch Kohlensäure aus 100 g Boden in mg		Durch Kohlensäure gelöst, in Prozenten des salzsäurelöslichen Anteils ausgedrückt	
	Kali	Phosphorsäure	Kali	Phosphorsäure	Kali	Phosphorsäure
1	0	0	28,0	4,8	20,1	7,5
2	0	0	17,0	5,0	16,1	5,2
3	deutlich	deutlich	28,0	5,0	41,8	6,7
4	„	„	4,0	3,0	4,1	6,5

Andere Versuche führen zu keinem besseren Erfolge. Daß die Kohlensäure nicht allein die Umsetzung der Bodenbestandteile in Ver-

bindungen, aus denen die Pflanzen sie aufnehmen können, herbeiführen kann, sucht J. König durch die Annahme zu erklären, daß ein großer Teil der für das Pflanzenwachstum in Betracht kommenden mineralischen Bodenbestandteile in Form von komplexen Humaten bezw. Silikaten vorhanden oder an Humuskolloide gebunden ist, auf welche Verbindungsformen kohlensäurehaltiges Wasser nicht lösend einwirkt. Wenn aber infolge der durch Bakterien oder Katalasen bewirkten Oxydationsvorgänge die Humusanteile der komplexen Salze oder der Kolloide zu Kohlensäure und Wasser oxydiert werden, so werden die damit verbundenen mineralischen Nährstoffe gleichsam frei, durch das gleichzeitig entstehende kohlensäurehaltige Wasser in Lösung gehalten und für die Pflanze nutzbar gemacht. Die im Boden selbst entstehende und die von außen durch Regen oder sonstwie zugeführte Kohlensäure können daher in ihren Wirkungen nicht miteinander verglichen werden. Diese Ansicht Königs hat viel für sich; wenn ihre Richtigkeit erwiesen wird, besteht wenig Aussicht dafür, daß wir in der Kohlensäure das Mittel gefunden haben, durch das wir die für die Pflanzenernährung nutzbaren Bodenbestandteile lösen können. Bisher sind die Versuche damit ohne bleibenden Erfolg gewesen.

Ein gleiches gilt von der Verwendung anderer schwacher bezw. verdünnter Säuren als Lösungsmittel der für die Pflanzenwurzeln aufnehmbaren Bodenbestandteile; als solche sind zu nennen: verdünnte Essigsäure (1, 2 und 5%), verdünnte Oxalsäure (0,5%), verdünnte Salpetersäure (0,1%), verdünnte Salzsäure (0,1%). Allgemeinere Beachtung hat dabei die Anwendung von 1- und 2%iger Zitronensäure gefunden. M. Gerlach und nach ihm B. Dyer, der in der 1%igen Zitronensäure einen Maßstab für die Azidität des Wurzelsaftes gefunden zu haben glaubte, haben wohl zuerst auf dieses Lösungsmittel aufmerksam gemacht, das nachher von verschiedenen Stellen und neuerdings besonders von J. König und O. Lemmermann für die Feststellung der von den Pflanzen aufnehmbaren Nährstoffe im Boden in Anspruch genommen worden ist. Lemmermann will durch die Einwirkung von 1%iger Zitronensäure auf den Boden nach dem von Berju angegebenen Verfahren die für die Pflanzenernährung wirksame Bodenphosphorsäure lösen; er ermittelt zugleich die in Königswasser lösliche Gesamtmenge der Phosphorsäure und berechnet den Anteil, den die gefundene zitronensäurelösliche Phosphorsäure hiervon ausmacht, die sogenannte relative Löslichkeit der Phosphorsäure. Ähnlich sind D. Meyer und H. Frese vorgegangen. Nach den bisher gemachten Beobachtungen glaubt Lemmermann annehmen zu dürfen, daß eine relative Löslichkeit der Phosphorsäure in 1%iger Zitronensäure von 25% als Grenzwert anzusehen sei; wird dieser Wert überschritten, so scheint ein Phosphorsäurebedürfnis nicht vorzuliegen. Dabei macht Lemmermann

die Einschränkung, daß, wenn der Boden nur sehr wenig Phosphorsäure enthält, so daß die je Hektar verfügbare Menge für eine Höchsternte nicht genügt, eine etwaige hohe relative Löslichkeit der Phosphorsäure über die Phosphorsäurebedürftigkeit dieses Bodens nichts besagt. Auch König kommt zu einem ähnlichen Grenzwert für die Phosphorsäure, indem er findet, daß 250 mg in 1%iger Zitronensäure lösliche Phosphorsäure in 1 kg Boden für die landwirtschaftlichen Kulturpflanzen genügen. König ist geneigt, in der 1%igen Zitronensäurelösung — es ist nach seinen Versuchen ohne Bedeutung, ob eine 0,5-, 1- oder 2%-Lösung verwendet wird — ein geeignetes Mittel zur Lösung der für die Pflanzenernährung verfügbaren Nährstoffe im Boden zu sehen, ausgenommen bei Kalkböden und an Kalkkarbonat reichen Böden. Ferner hebt König hervor, daß bei den leichteren (Sand- oder lehmigen Sand-) Böden Phosphorsäure und Kali verhältnismäßig leichter löslich sind, als bei schwereren Lehm- und Tonböden, in denen infolge des höheren Gehaltes an Eisenoxyd und Tonerde die Phosphorsäure weniger löslich ist, die Löslichkeit des Kali aber unbeeinflußt durch das Lösungsmittel im allgemeinen mit dem Gesamtkali im Boden steigt und fällt. Hinsichtlich der notwendigen Kalimenge glaubt König nach seinen Untersuchungen 160 mg in 1%iger Zitronensäurelösung lösliches Kali in 1 kg Boden als für die Versorgung unserer Kulturpflanzen ausreichend ansehen zu sollen. Unsere Untersuchungen über die Einwirkung einer 1%igen Zitronensäurelösung auf den Boden haben solche günstigen Erfahrungen nicht immer gebracht, wie die Versuche von König und Lemmermann. In fünf Böden aus Buntsandsteinverwitterung konnte durch den Freilandversuch nur in 2 Böden eine geringe Phosphorsäurebedürftigkeit festgestellt werden, während in den drei anderen Böden Phosphorsäure nicht fehlte; in 1% Zitronensäure waren auf 1 kg Boden berechnet in den ersteren Böden 720 und 740 mg Phosphorsäure löslich, in den drei anderen Böden 830—1140 mg. Ein Kalibedürfnis trat in allen Böden hervor; es war am stärksten in Böden, die auf 1 kg Boden berechnet 150 und 160 mg in 1% Zitronensäure lösliches Kali enthielten, am geringsten bei 160 mg Kali und die Mitte nahmen zwei Böden mit 220 und 280 mg in 1% Zitronensäure löslichem Kali ein. Derartige wechselnde Ergebnisse sind nicht vereinzelt in unseren Versuchen, so daß es erklärlich ist, wenn ich heute noch Bedenken gegen dieses Verfahren zur Feststellung des Düngungsbedürfnisses des Bodens für Phosphorsäure und Kali habe.

Besonderes Interesse muß die Feststellung Königs erregen, daß die 1%ige Zitronensäure auch zur Bestimmung des leichtlöslichen Stickstoffs dienen kann; 140—150 mg des in dieser Weise gelösten Stickstoffs auf 1 kg Boden sollen eine Stickstoffdüngung unnötig machen. Statt der 1% Zitronensäure kann auch eine 1%ige Kaliumsulfatlösung

verwendet werden und ist diese vorzuziehen, weil die Zerstörung der Zitronensäure bei der Bestimmung des Stickstoffs Schwierigkeiten bereitet.

Wenn ich auf Grund eigener Untersuchungen zunächst noch Bedenken gegen die Bestimmung der Düngungsbedürftigkeit der Böden durch die Einwirkung der 1%igen Zitronensäurelösung auf den Boden habe, so geben dazu auch die von Lemmermann und König selbst hervorgehobenen Einschränkungen in der Brauchbarkeit des Verfahrens Anlaß. König will auch nicht das Düngungsbedürfnis durch die Feststellung der Löslichkeit der Bodennährstoffe in 1% Zitronensäure feststellen, sondern er sieht in der durch die in 1% Zitronensäure angezeigte Menge leichtlöslicher Nährstoffe nur „einen Maßstab für den Löslichkeitsgrad der Nährstoffe, bei dem sich die Pflanzen genügend mit Nährstoffen des Bodens versorgen können". Die schon erwähnten Einschränkungen in der Brauchbarkeit des Verfahrens weisen bereits darauf hin, daß wir es mit einem Verfahren zu tun haben, dem keine allgemeine Gültigkeit zugesprochen werden kann. Auch die angegebenen Grenzwerte haben nur einen bedingten Wert, der je nach Boden- oder Pflanzenart schwanken wird; er kann erheblichen Schwankungen unterliegen, genau wie bei anderen Verfahren, wodurch aber die Sicherheit und die Brauchbarkeit solcher Verfahren leiden muß. Trotzdem kann aber auch ein solches Verfahren für die Prüfung der Düngungsbedürftigkeit der Böden gute Dienste leisten, wenn durch zahlreiche Versuche die Grenzen seiner Brauchbarkeit bestimmt und eine Überschätzung und Verallgemeinerung vermieden wird. Das gilt nicht nur für dieses Verfahren, sondern auch für alle anderen Methoden, deren Brauchbarkeit noch nicht abgeschlossen geprüft ist; darauf sei hier allgemein hingewiesen.

Außer den Säuren wurden für die Bestimmung der Bodenbestandteile, die in einer für die Ernährung der Pflanzen verfügbaren Form im Boden vorhanden sind, noch als Lösungsmittel vorgeschlagen: verschiedene Ammoniumsalze wie Ammonzitrat, Ammoniumazetat, Ammoniumnitrat, Ammoniumchlorid, ferner Kalkwasser und Chlorkalzium. Von diesen Salzen hat nur Ammoniumchlorid, das zuerst von O. Kellner zur Bestimmung des vom Boden absorbierten Kalis und Kalkes empfohlen wurde, eine größere Bedeutung gefunden. J. König findet, daß durch eine 10%ige Chlorammoniumlösung etwas mehr Kali gelöst wird, als durch eine 1%ige Zitronensäurelösung; er hält zwar diese Chlorammoniumlösung für brauchbar zur Lösung des von den Pflanzen aufnehmbaren Kalis, möchte aber wegen der Umständlichkeit der Durchführung des Verfahrens der Anwendung 1%iger Zitronensäure den Vorzug geben. Nach den Untersuchungen von D. Meyer haben wir in einer 10%igen Chlorammoniumlösung ein Mittel, das zur Feststellung der Kalkbedürftigkeit der Böden dienen kann. Wenn mehr als 0,20% Kalk hierdurch gelöst werden, so soll ein Bedürfnis für Kalk nicht vorliegen. Neuerdings sucht

Hissinck den absorptiv gebundenen Kalk durch Behandlung des Bodens mit Chlornatriumlösung zu bestimmen und so eine Grundlage für die Beurteilung des Kalkbedürfnisses zu schaffen. Gedroiz u. a. m. verfahren in ähnlicher Weise und besonders hat A. Gehring dieses Verfahren mit gutem Erfolge weiter ausgebaut. Ein abschließendes Urteil ist zurzeit noch nicht möglich. Kellner sieht auch in dem durch eine 10%ige Chlorammoniumlösung gelösten absorbierten Kali die für die Pflanzenwurzeln aufnehmbare Kalimenge. Demgegenüber kommt Pfeiffer zu dem Schluß, daß das nach diesem Verfahren gefundene Kali nicht die einzige Kaliquelle für die Pflanzen sein kann, daß vielmehr zwischen dem absorptiv gebundenen und dem von den Pflanzen aufgenommenen Kali eine Beziehung nicht besteht.

Neben diesen rein chemischen Lösungsversuchen sind Untersuchungen durchgeführt worden, um durch das Dämpfen des Bodens einen Einblick in die Löslichkeit der Bodenbestandteile zu gewinnen. Versuche dieser Art sind zuerst in unserer Versuchsanstalt, früher von Th. Dietrich, später von mir unternommen. Kulturboden oder unverwittertes Gestein wurden zuerst gedämpft und dann mit kohlensäurehaltigem Wasser behandelt. Dabei stellte sich heraus, daß durch das Dämpfen die Löslichkeit der Nährstoffe im Boden oder im Gestein erheblich gefördert worden war. So wurden z. B. aus 100 g Buntsandstein durch kohlensäurehaltiges Wasser gelöst:

	Kalk	Magnesia	Kali	Phosphorsäure
	mg	mg	mg	mg
a) Ohne Dämpfen des Gesteins	52	24	6	0
b) Nach „ „ „	92	45	10	3

Die gleichzeitig in den Gesteinen ausgeführten Vegetationsversuche ergaben aber keine gleichmäßig wiederkehrenden Beziehungen zwischen den gelösten Bestandteilen und den erzielten Ernten. Dasselbe Ergebnis haben auch Versuche, die auf Kulturböden ausgeführt worden sind, gehabt. Zu wesentlich günstigeren Ergebnissen ist J. König gekommen. Er hat durch das Dämpfen des Bodens (500 g Boden mit 5 l Wasser 5 Stunden bei 5 Atmosphären Überdruck) besonders von dem vorhandenen Kali, weniger von der Phosphorsäure Mengen gelöst, die sich den von den Pflanzen aufgenommenen Mengen näherten; so wurden in Gefäßversuchen auf sechs verschiedenen Böden mit verschiedenen Kulturpflanzen im Mittel von 10 Jahren gefunden:

Mengen gelöst durch	Sandboden	Kalkboden	Lehmboden	Schieferboden	Lehmiger Sandboden	Tonboden
	mg	mg	mg	mg	mg	mg
Dämpfen	414	443	564	651	749	1159
Aufgenommen durch die Pflanzen	386	492	453	643	726	1055

Bei vergleichenden Versuchen über die lösende Wirkung des Dämpfens und der 1%igen Zitronensäure fand König, daß durch 1%ige Zitronensäure etwa fünfmal soviel Phosphorsäure und etwa zweimal soviel Kali gelöst wird als durch Dämpfen; er glaubt deshalb, daß zur Bestimmung der leichtlöslichen Phosphorsäure besser die 1%ige Zitronensäure, zur Ermittelung des leichtlöslichen Kalis aber auch das Dämpfen des Bodens angewendet werden kann. König gibt aber der Anwendung der Zitronensäure zur Feststellung des leichtlöslichen Kalis wegen der einfachen Ausführung des Verfahrens den Vorzug. Dazu kommt aber weiter, daß die Zitronensäurelösung des Bodens für die Bestimmung der Phosphorsäure und vielleicht für die Feststellung des leichtlöslichen Stickstoffs dienen kann.

J. König hat versucht, durch physikalische Verfahren Aufschluß über das Düngungsbedürfnis eines Bodens zu erhalten und zwar durch die Messung des osmotischen Druckes und der elektrischen Leitfähigkeit des Bodens. Der osmotische Druck der Bodensalzlösung wird gemessen, indem man diese Lösung durch eine hemipermeabele Membran von reinem Wasser trennt und den Druck mißt, welcher durch das Eindringen von Wasser in die Bodenlösung entsteht. Schon geringe Mengen löslicher Düngesalze werden durch den gemessenen Druck angezeigt. Bei den ausgeführten Versuchen stand in manchen Fällen der osmotische Druck im geraden Verhältnis zur Menge der geernteten Trockensubstanz, so daß die Annahme naheliegt, daß in dem osmotischen Druck ein Anhalt für den Löslichkeitsgrad der Bodenbestandteile insgesamt gegeben ist und daß man mit Hilfe dieses Verfahrens die Umsetzungen, die die Salze im Boden erfahren, verfolgen kann; mehr aber dürfte von diesem Verfahren hinsichtlich der Beurteilung der Bodenbeschaffenheit nicht zu erwarten sein, so daß es uns keinen Aufschluß über das Düngungsbedürfnis des Bodens geben kann.

Die Versuche darüber, ob die Wirkung des elektrischen Stromes auf den Boden uns ein Maß für die löslichen Bodensalze geben kann, gehen auf Whitney und King, ferner Jeffrey zurück. J. König geht bei seinen Versuchen davon aus, daß, wenn man eine mit Wasser durchfeuchtete Bodenprobe zwischen zwei Platinelektroden bringt und einen elektrischen Gleichstrom hindurchleitet, hierbei die mineralischen Bodenbestandteile in Lösung gebracht werden und die Menge dieser gelösten Bestandteile mit der Einwirkungsdauer des elektrischen Stromes zunimmt. Wenn die Bodenlösung nur einmal der Einwirkung eines elektrischen Stromes von bestimmter Stärke ausgesetzt wurde, ist vom Kali annähernd dieselbe Menge wie durch Dämpfen des Bodens gelöst worden. Bei Phosphorsäure und mehr noch beim Kalk wurden Beziehungen zwischen der so gelösten und der von den Pflanzen aufgenommenen Menge dieser Bodenbestandteile nur in sehr weiten Grenzen festgestellt.

Dieses Verfahren gibt uns deshalb auch kaum einen sicheren Maßstab für das Düngungsbedürfnis des Bodens.

Die bisherigen Darlegungen zeigen keine befriedigenden Ergebnisse der Versuche zur Feststellung des Düngungsbedürfnisses eines Bodens durch die chemische oder physikalische Untersuchung des Bodens selbst. Die Erklärung liegt darin, daß es schwierig sein wird, im chemischen Lösungsprozeß die Vorgänge bei der Nährstoffaufnahme durch die Pflanzen nachzuahmen, da es sich nicht um rein chemische oder physikalische Vorgänge handelt, sondern um solche biologischer Art mit ihren wechselnden Folgeerscheinungen je nach Wassergehalt, Temperatur, Luftzutritt usw. Ob es jemals gelingen wird, durch solche Lösungsversuche chemischer oder physikalischer Art, so wertvoll ihre Ergebnisse auch zur Erkennung der Bindungen der Bodenbestandteile und ihrer Umsetzungen sein können, zu einem Verfahren zur Bestimmung der Düngebedürftigkeit der Böden, d. h. zur Feststellung der Notwendigkeit der Zuführung bestimmter Nährstoffe zur Erzielung von Höchsternten, zu kommen, muß nach dem Stande unserer heutigen Erfahrung bezweifelt werden. Man braucht dabei nicht einmal an das abweichende Nährstoffbedürfnis größerer Pflanzengruppen wie Gramineen und Leguminosen zu denken; schon die einzelnen Arten dieser Pflanzengruppen werden sich verschieden verhalten. Die hierdurch gegebene Mannigfaltigkeit wird aber noch durch die Verschiedenheit der Böden gesteigert, die durch die verschiedene Vorfrucht und Bearbeitung noch größer wird. Je mehr man allen diesen Faktoren, die auf die Wirkung der chemischen Lösungsmittel auf die Bodennährstoffe von Einfluß sein können, nachforscht, desto geringer werden die Aussichten, auf diesem Wege zu einer den praktischen Bedürfnissen genügenden Lösung zu kommen.

J. König, dessen Untersuchungen auf dem Gebiete der Bodenchemie vielfach neue Wege gezeigt haben und der besonders auch bei der Prüfung der Löslichkeit der Bodenbestandteile durch chemische Lösungsmittel mitgearbeitet hat, hat selbst darauf hingewiesen, daß die Ermittelung des Gehaltes der leicht löslichen, für die Pflanzen aufnehmbaren Nährstoffe allein nicht zur Feststellung der Düngebedüftigkeit eines Bodens genügt. Dazu muß noch kommen die Kenntnis: 1. des Nährstoffbedürfnisses der einzelnen Kulturpflanzen bezw. der Menge der von den Pflanzen durch eine Vollernte aus einer bestimmten Bodenfläche aufgenommenen Nährstoffe und 2. der prozentualen Ausnutzung dieser Nährstoffe durch die verschiedenen Kulturpflanzen auf den verschiedenen Bodenarten. Zur Durchführung des Verfahrens sind erst durch umfangreiche Versuche der Nährstoffbedarf der verschiedenen Kulturpflanzen und die Ausnutzungskoeffizienten auf den verschiedenen Bodenarten zu ermitteln, bevor dieses Verfahren durchführbar ist; erst dann wird man auch über die Brauchbarkeit desselben zur Ermittelung

der Düngebedürftigkeit eines Bodens urteilen können. Eine Schwierigkeit wird dabei bestehen; es ist wiederholt auf den Einfluß der Bodenart und der Bodenbeschaffenheit auf die Düngebedürftigkeit des Bodens hingewiesen worden; hierfür werden bei diesem Verfahren Durchschnittswerte eingesetzt, deren Richtigkeit für den zu prüfenden Boden angenommen wird; nur für den Fall, daß dieses richtig ist, würde der Schluß auf die Düngebedürftigkeit richtig sein, die Sicherheit desselben aber erst durch die Ertragsfeststellung, also nach der Ernte gegeben sein.

Dieses Verfahren Königs verbindet den chemischen Lösungsversuch mit einem anderen Verfahren, das früher schon in sehr wechselnder Art zur Feststellung des Düngungsbedürfnisses des Bodens verwendet worden ist, nämlich aus der Zusammensetzung der Pflanze oder einzelner Pflanzenteile auf das Düngungsbedürfnis der Pflanzen zu schließen. Daß das Vorkommen bestimmter Pflanzen an eine bestimmte Bodenzusammensetzung gebunden ist, ist bekannt; so spricht man denn auch von Leitpflanzen für die einzelnen Bodenarten. Man nimmt an, daß z. B. das Vorkommen von Sauerampfer auf Kalkmangel, von Huflattich auf Kalkvorrat im Boden hindeutet. Weiter will man aus dem Aussehen der Pflanzen, aus gewissen Verfärbungen der Blattorgane auf Nährstoffmangel schließen und hierfür geben die Untersuchungen der Versuchsstation Bernburg von Wilfarth, von Krüger und seinen Mitarbeitern gute Unterlagen. Bei Stickstoffmangel zeigen die Blätter eine hellgrüne bis gelbliche Färbung, die beim Vertrocknen der Blätter braungelb wird. Phosphorsäure hat bei Stickstoffüberschuß eine dunkelgrüne Färbung der Blätter zur Folge; bei starkem Mangel bilden sich zuerst an den Rändern und später auf dem ganzen Blatt schwarzbraune Flecken; beim Vertrocknen sind die Blätter dunkelgrün bis braunschwarz gefärbt. Kalimangel zeigt sich anfangs durch gelbbraune Flecken auf den Blättern zwischen den Blattnerven an, die sich nach und nach ausdehnen und weiß färben; dabei bleiben Blattstiele und Blattrippen grün. So wertvoll diese Verfärbungen auch als Merkmale für Nährstoffmangel sein können, so sind sie natürlich nur Hinweise, die keine Sicherheit im Urteil über das Düngungsbedürfnis des Bodens bieten. Bei anderen Untersuchungen ist man von der Zusammensetzung der Pflanzen oder Pflanzenteile ausgegangen. Diese Versuche sind oft unternommen worden und haben auch zum Teil zu Ergebnissen geführt, deren Bedeutung insofern nicht unterschätzt werden soll, als sie uns gewisse Anhaltspunkte für das Fehlen des einen oder anderen Nährstoffs im Boden geben. Dabei ist Meinhold von der Zusammensetzung der Asche der Unkräuter ausgegangen. Heinrich und v. Dickow haben die Wurzeln der Haferpflanzen untersucht. Häßner und Stahl-Schröder lehnen die Haferwurzeln als für diesen Zweck geeignetes Untersuchungsobjekt ab. Helmkampf will mit der Pflanzenanalyse einen Düngungsversuch

verbinden; er schlägt vor, einen Düngungsversuch mit einer Halmfrucht auszuführen und zur Zeit der Blüte von den Pflanzen jeder Parzelle Durchschnittsmuster zu untersuchen. Wenn sich dabei infolge der Düngung mit einem Nährstoff eine Zunahme dieses Bestandteiles in der Pflanze ergibt, so soll daraus die Düngebedürftigkeit für diesen Stoff folgen, dagegen letztere nicht vorliegen, wenn die Zusammensetzung der Pflanze durch die Düngung nicht beeinflußt wird. Dieses Verfahren nähert sich einem Vorschlage Hellriegels, der zu einem nahezu kalifreien Quarzsand eine Nährlösung mit wechselndem Kaligehalt setzte, in diesem Sande Gerste zog und aus dem Kaligehalt von Körnern und Stroh der geernteten Gerste die Ausnutzung des Düngungskalis berechnete. Von der letzteren ausgehend glaubte Hellriegel auch bei Pflanzen, die im freien Feldversuche erhalten wurden, aus den Abweichungen auf den genügenden oder fehlenden Nährstoffvorrat im Boden schließen zu können. Hall, Hanamann, Godlewski, Münter haben aus dem Verhältnis der Nährstoffe in den Pflanzen auf das Düngungsbedürfnis des Bodens schließen wollen. Alle diese Verfahren haben zu keiner Lösung der Frage, wie eine Feststellung des Düngungsbedürfnisses eines Bodens mit Sicherheit erfolgen kann, geführt; sie sind hier nur kurz berührt, um zu zeigen, in welcher verschiedenen Weise versucht worden ist, hier Klarheit zu schaffen.

Weit größere Beachtung bis in unsere Zeit hat ein Vorschlag von P. Wagner gefunden, den in etwas anderer Form früher schon Emmerling gemacht hat. Letzterer wollte aus der Abweichung der Zusammensetzung des Heues einer Wiese von der mittleren Zusammensetzung normalen Heues folgern, ob der eine oder der andere Nährstoff fehlte. Diese als Vergleichsgrundlage gewählte mittlere Zusammensetzung normalen Heues kann nicht als eine sichere Grundlage für diese Beurteilung gelten. Diese Unsicherheit vermeidet Wagner; er geht von der Voraussetzung aus, daß der Nährstoffgehalt der Pflanzen in den jeweiligen Höchsternten einen Maßstab für die Beurteilung des Düngungsbedürfnisses eines Bodens abgibt, und glaubt aus den Ergebnissen seiner zahlreichen Düngungsversuche schließen zu dürfen, daß, wenn Wiesenheu mehr als 2% Kali und mehr als 0,7% Phosphorsäure enthält, der Kali- bezw. der Phosphorsäuregehalt des Bodens ausgereicht hat, um den unter den gegebenen Wachstumsverhältnissen möglichen Höchstertrag hervorzubringen. Wagner schließt aus niedrigeren Gehaltszahlen dieser Nährstoffe, in welchem Grade durch eine Düngung eine Ertragssteigerung zu erwarten ist. In diesem Verfahren Wagners liegt der Hinweis auf einen Weg, der vielleicht schneller zu dem gesuchten Ziele führen kann. Aber die als Grenzwerte angegebenen Gehaltszahlen sind und sollen auch gewiß nicht als allgemein gültig in dieser Hinsicht angesehen werden, denn es ist zur Genüge bekannt, wie sehr der Er-

trag und auch die Zusammensetzung der Pflanzen von Boden-, klimatischen und sonstigen Verhältnissen abhängig ist. Wie sehr allgemein schon die klimatischen Verhältnisse die Zusammensetzung der Erntemassen beeinflussen können, beweisen uns die eingehenden Untersuchungen v. Seelhorsts über den Einfluß des Wassers auf die Zusammensetzung der Ernten, welche diesen Forscher bezweifeln lassen, daß aus der prozentischen Zusammensetzung der Ernte auf die Düngebedürftigkeit des Bodens geschlossen werden kann. Der Einfluß des Wassergehaltes des Bodens auf den Ertrag und die Zusammensetzung der Ernte folgt aus Versuchen unserer Anstalt, die zeigten, daß z. B. bei Versuchen bei Pferdebohnen in Lehmboden bei Erhöhung des Wassergehaltes im Boden von 45% auf 75% der wasserhaltenden Kraft des Bodens der Ertrag von 177,8 g auf 273,5 g je Topf und der Kaligehalt in den Körnern von 0,94 auf 1,34%, im Stroh von 1,84% auf 2,19% stieg. Oder in dem Heu einer Wiese, die schon mehrere Jahre gleichmäßig mit Thomasmehl und Kalisalz in ausreichender Weise gedüngt worden war, wurden 2,47% Kali gefunden, so daß man nach den Feststellungen Wagners annehmen mußte, daß der Boden genügende Mengen Kali zur Erzielung einer Höchsternte enthielte. Trotzdem wurde durch eine Verdoppelung der Kalidüngung der Ertrag noch erheblich gesteigert und zwar von 37 Ztr. auf 57 Ztr. Heu mit 2,943% Kali. Diese Ergebnisse weisen auf die Abhängigkeit des Nährstoffgehaltes der Pflanzen von den örtlichen, insbesondere den Niederschlagsverhältnissen hin und sprechen für die gerade von P. Wagner immer hervorgehobene Bedeutung des Felddüngungsversuches zur Aufklärung des Düngungsbedürfnisses eines Bodens.

In anderer Weise sind J. K. Greisenegger und K. Vorbuchner vorgegangen. Sie haben in geringen Mengen (100 g) des ungedüngten und gedüngten Bodens eine größere Anzahl (50) Gerstenpflanzen gezogen, um den Boden an Nährstoffen zu erschöpfen. Aus der Wachstumssteigerung durch den zugesetzten Nährstoff bezw. der Wachstumsdauer und dem Erntegewicht glauben sie auf das Düngungsbedürfnis des Bodens schließen zu können. Unabhängig hiervon haben H. Neubauer und W. Schneider die Keimpflanzen-Methode zur Bestimmung des Nährstoffgehaltes der Böden auf ähnlicher Grundlage aufgebaut; sie wollen auch durch eine große Anzahl Pflanzen aus einer geringen Menge Boden die vorhandenen, von den Pflanzen aufnehmbaren, sogen. wurzellöslichen Nährstoffe aus dem Boden herausholen und aus der Menge der in den Versuchspflanzen enthaltenen Nährstoffe auf das Düngungsbedürfnis des Bodens für diese Nährstoffe schließen. Das Verfahren ist zunächst auf Phosphorsäure und Kali beschränkt. Die Versuche sind bisher nur mit Roggen ausgeführt und bedürfen in dieser Hinsicht noch sehr der Ergänzung, denn wir wissen, daß das Nährstoffbedürfnis der

Pflanzen nicht nur bei den verschiedenen Pflanzenarten, sondern auch bei verschiedenen Sorten derselben Art sehr wechselt; die bei Roggen gefundenen Werte können also nur eine beschränkte Bedeutung für die Beurteilung des Düngungsbedürfnisses eines Bodens haben. Hierüber ist sich auch Neubauer klar. Deshalb will er auch bei unserer heutigen Erfahrung mit seinem Verfahren nur einen Anhaltspunkt für die Ermittelung des Düngungsbedürfnisses eines Bodens geben. Ob es uns mehr bieten wird, kann zunächst noch bezweifelt werden, denn nicht nur die verschiedenen Pflanzenarten werden sich hier verschieden verhalten, sondern mehr wird vielleicht noch die verschiedene Bodenbeschaffenheit auf eine abweichende Löslichkeit der Nährstoffe hinwirken; Entstehung und Bearbeitung des Bodens, die Fruchtfolge und andere Kulturmaßnahmen sind Faktoren, die auf die Beschaffenheit des Bodens und damit auf seine Düngungsbedürftigkeit verändernd einwirken. So ist bekannt, daß die Löslichkeit der Phosphorsäure in den leichteren Böden größer ist, als in den schwereren Böden, daß hier also eine geringere Gesamtmenge an Phosphorsäure zur Deckung des Phosphorsäurebedürfnisses der Pflanzen ausreichen kann; vielleicht liegt darin auch die Erklärung dafür, daß in den leichteren Sandböden der Mark Brandenburg trotz ihres geringeren Gehaltes an Gesamtphosphorsäure sich ein Bedürfnis für Phosphorsäure nicht bemerkbar macht. Wir werden also hier auch nur Anhaltspunkte gewinnen und uns mit Grenzwerten begnügen müssen, die für jeden besonderen Fall Unsicherheiten in sich bergen, wie dieses auch bei anderen Verfahren zur Feststellung des Düngungsbedürfnisses eines Bodens der Fall gewesen ist.

Bei der Übertragung der Versuchsergebnisse auf das freie Land ist zu berücksichtigen, daß wir im Versuche nur die geringe Menge von 100 g Boden haben und darin die große Menge von 100 Pflanzen ziehen, daß also die Pflanzenwurzeln den Boden vollständig durchziehen und in einer Weise die löslichen Nährstoffe daraus aufnehmen, wie es im freien Felde niemals der Fall sein kann. Um diesen Verhältnissen Rechnung zu tragen, empfiehlt Neubauer als vorläufigen Anhalt anzunehmen, daß, wenn die Aufnahme einer bestimmten Menge Phosphorsäure oder Kali im freien Lande sichergestellt sein soll, die fünffache Menge in wurzellöslicher Form im Boden vorhanden sein muß. Aus dem Volumgewicht der Böden läßt sich das Gewicht der Böden in der Kulturschicht, die für die Ernährung der Pflanzen in Frage kommt, berechnen; dieses Volumgewicht ist für die einzelnen Bodenarten verschieden. Rechnet man mit 20 cm Bodentiefe, so haben wir auf 1 ha 2000 cbm Boden und erhalten das Gewicht dieser Bodenschicht durch Multiplikation dieser Zahl mit dem Volumgewicht. Neubauer geht von einem Mittelwert aus und nimmt an, daß 1 mg der in 100 g Boden festgestellten wurzellöslichen Nährstoffe bei einer 20 cm tiefen Bodenkrume

rund 30 kg je Hektar entspricht, so daß wir durch Multiplikation der festgestellten Nährstoffe mit 30 die Gesamtmenge dieser Nährstoffe je Hektar erfahren und daraus durch Division durch 5 diejenige Menge, die von den Pflanzen im freien Lande aufgenommen werden könnte.

Ein wesentlicher Vorzug dieses Verfahrens gegenüber dem Vegetationsversuch liegt darin, daß es zu jeder Zeit durchführbar ist und das Ergebnis innerhalb 4 Wochen vorliegen kann; dieses ist offenbar von großer praktischer Bedeutung. Andrerseits liegt aber in dieser kurzen Versuchsdauer auch eine Schwäche des Verfahrens, indem dabei in dem Ergebnis nur ein Teil der Bodennährstoffe erfaßt wird, die während der ganzen Vegetationszeit den Pflanzen im Boden zur Verfügung stehen, denn die Nährstoffe im Boden, die nach und nach in dieser Zeit durch die Pflanzenwurzeln und Bodenagentien aufgeschlossen werden, werden von den Keimpflanzen nicht aufgenommen. Eine weitere Schwierigkeit des Verfahrens liegt darin, daß der Versuch nur in 100 g Boden durchgeführt wird; bei dieser kleinen Menge ist die Sicherstellung eines guten Durchschnittes des Bodens nicht gegeben. Es muß aus allen diesen Gründen zunächst dahingestellt bleiben, ob wir durch dieses Verfahren mehr als einen ungefähren Anhalt für die Beurteilung des Düngungsbedürfnisses eines Bodens erhalten werden. Aber auch hierfür ist es noch notwendig, den Einfluß des Lichtes, der Wärme und des Wassers, ferner auch der einzelnen Pflanzenarten auf die Nährstoffaufnahme durch die Keimpflanzen zu prüfen, damit durch die Berücksichtigung dieser Faktoren die Grenzwerte der einzelnen Nährstoffe, die für die Ernährung nötig sind, sichergestellt werden, denn zweifellos wirken diese Faktoren auf die Stärke der Wurzelbildung und damit auf die Nährstoffaufnahme stark ein.

Abgesehen von seiner Bedeutung für die Feststellung des Düngungsbedürfnisses eines Bodens kann das Verfahren vielleicht bei vergleichenden Versuchen über das Nährstoffbedürfnis der verschiedenen Pflanzenarten und auch der verschiedenen Sorten derselben Pflanzenart von Nutzen sein. Die Versuche Greiseneggers weisen auch darauf hin, daß durch dieses Verfahren die Löslichkeit bezw. die Wirkung der Phosphorsäure- und Kalidünger geprüft werden kann.

Bei dieser Sachlage bleibt der bisher verfolgte Weg, durch Düngungsversuche zum Ziele zu kommen, auch heute noch berechtigt. P. Wagner hat hier führend gewirkt und neben dem Feldversuch auch den Gefäßversuch ausgebildet. Ein Nachteil dieser Versuche besteht besonders dem Neubauerschen Verfahren gegenüber in der längeren Dauer dieser Versuche. Außerdem ist für den Gefäßversuch eine größere Bodenmenge notwendig. Mitscherlich sieht in der bisherigen Art der Versuche insofern einen Nachteil, als diese Versuche uns nur sagen, welcher Nährstoff zur Erreichung höherer Erträge nötig ist, also gewisser-

maßen nur zu einem qualitativen Ergebnis führen. Nach dieser Richtung will Mitscherlich auf Grund des von ihm aufgestellten Wirkungsgesetzes der Wachstumsfaktoren zu sicheren Zahlen für die Nährstoffmenge kommen. Er sucht dem Einfluß der Ungleichmäßigkeit des Bodens beim Freilandversuch durch Verkleinerung der Versuchsteilstücke (für Halmfrüchte 100 qm, für Hackfrüchte 25 qm) zu begegnen; durch eine größere Anzahl der Parallelparzellen und die Benutzung der Ausgleichsrechnung bei der Verarbeitung der Versuchsergebnisse will er weiter die durch die Verschiedenheit des Bodens verursachten Abweichungen der Versuchsergebnisse einschränken. Dieser Nachteil ist beim Gefäßversuch nicht vorhanden. Hierbei kann auch der Einfluß von Licht, Wärme und Wasser gleichmäßig und vor allem auch für die ganze Vegetationszeit günstig gestaltet werden, so daß eine sicherere Grundlage für die Erzielung von Höchsterträgen gegeben ist, die beim Feldversuch fehlt, hier diese Witterungseinwirkungen nicht gleichmäßig gestaltet werden können, so daß in ungünstigen Fällen das Versuchsergebnis hierdurch sehr beschränkt werden kann. Der Nachteil des Vegetationsversuchs besteht darin, daß wir keinen gewachsenen Boden haben, der Einfluß des Untergrundes auf die Nährstoffversorgung der Pflanzen wegfällt und bei der geringen Anzahl der Versuchspflanzen in jedem Gefäß die Individualität der einzelnen Pflanzen auf das Ergebnis erheblich einwirkt. Aber trotz dieser Mängel ist der Gefäßversuch ein sehr brauchbares Mittel, das Düngungsbedürfnis eines Bodens zu erkennen.

Nach den früheren Ausführungen über das von Mitscherlich aufgestellte Wirkungsgesetz der Wachstumsfaktoren bestimmt nicht der am meisten im Minimum befindliche Wachstumsfaktor den Pflanzenertrag, sondern hierfür sind sämtliche Wachstumsfaktoren entscheidend. Deshalb kann der Einfluß eines Faktors nur ermittelt werden, wenn alle anderen Faktoren konstant sind. Zu den hier in Frage stehenden Wachstumsfaktoren rechnet Mitscherlich als innere Wachstumsfaktoren die Art der Kulturpflanzen und als äußere Wachstumsfaktoren die klimatischen Einflüsse wie Licht, Wärme, Wasser und als bodenkundliche Faktoren den Wassergehalt und die Pflanzennährstoffe des Bodens. Diese Wachstumsfaktoren sind im Gefäßversuch am leichtesten zu regeln und dadurch der Einfluß eines veränderten Faktors, z. B. eines Nährstoffes festzustellen. Aus dem Ertrage nach Volldüngung und dem Ertrage einer Düngung, in der der zu prüfende Nährstoff fehlt, ist auf Grund des oben erwähnten Wirkungsgesetzes die zur Erzielung des Höchstertrages nötige Menge dieses Nährstoffes zu berechnen. Dieses Verfahren ist von Mitscherlich vielfach geprüft worden; es hat viele Gegner gefunden und muß heute noch dahingestellt bleiben, ob hier ein Weg zum Ziele gezeigt ist.

Außer diesen Verfahren ist noch die biologische Bodenprüfung zu erwähnen, auf die neuerdings Harald R. Christensen hingewiesen hat. Aus der Feststellung, daß Azotobakter Kalk, Kali und Phosphorsäure zum Wachstum nötig hat, glaubt er aus dem Verhalten von Azotobakter im Boden auf das Bedürfnis für diese Nährstoffe schließen zu können. Allerdings erhalten wir dadurch zunächst nur einen Anhalt für den augenblicklichen Nährstoffzustand im Boden, nicht auch für den gesamten Nährstoffvorrat.

Damit sind die hauptsächlichsten Richtungen, die bei den Untersuchungen über das Düngebedürfnis des Bodens verfolgt wurden, kurz charakterisiert; die Ergebnisse dieser Versuche bieten keine Grundlage für ein abschließendes Urteil und bleibt uns darum auch in der Zukunft zunächst immer noch der Vegetations- bezw. Düngungsversuch als der sicherste Weg zur Erkennung des Düngungsbedürfnisses des Bodens.

B. Düngemittel

Die Pflanze hat zu ihrem Aufbau Stoffe nötig, die uns teils die Luft und teils der Boden aus seinen ursprünglichen Bestandteilen liefert und die zum anderen Teile, soweit diese anderen Quellen versagen, dem Boden durch Düngemittel besonders zugeführt werden müssen. Aus der Luft erhalten wir: Wasser, Kohlensäure, Sauerstoff, Stickstoff, aus dem Boden die anderen in den Pflanzen vorhandenen Elemente, wie sie früher (Bd. I) angegeben sind, von denen durch die Düngung in der Hauptsache: Stickstoff, Phosphorsäure, Kali und Kalk je nach dem Bedarf der Pflanzen für diese Nährstoffe zuzuführen sind, während die übrigen Stoffe entweder an sich in dem Boden ausreichend vorhanden oder in den Düngemitteln als Nebenbestandteile in einer für das Gedeihen der Pflanzen genügenden Menge enthalten sind. Zu diesen letzteren Stoffen sind besonders Magnesium, Natrium, Chlor und Kieselsäure zu rechnen.

I. Die Bedeutung des Wassers für die Wirkung der Düngemittel

Wenngleich schon früher (Bd. I) bei der Erörterung der Ernährung der Pflanzen die Bedeutung des Wassers für die Bildung der Pflanzensubstanz eingehend dargelegt worden ist, so soll hierauf doch noch einmal kurz besonders so weit eingegangen werden, als das Wasser für die Aufnahme der Nährstoffe in Frage kommt. Ohne Wasser ist eine Aufnahme und eine Wirkung der Nährstoffe nicht möglich; es löst die Nährstoffe, die in der gelösten Form von den Wurzeln aufgenommen werden, vermittelt ihre Umbildung in Pflanzensubstanz, befördert die Umsetzungsstoffe in der Pflanze und leitet diese Stoffe durch die Pflanze zur Ablagerungsstätte. Man hat auch geglaubt, daß die Pflanzen das Wasser durch ihre oberirdischen Organe aufnehmen könnten, und wollte dieses aus der erfrischenden Wirkung des Taues auf die Pflanzen schließen. Es geht aber wohl heute die allgemeine Ansicht dahin, daß es sich hier nicht um eine unmittelbare Wirkung des Taues durch Abgabe von Wasser an die Pflanze handelt, als vielmehr um eine wassersparende Wirkung insofern, als der Tau anzeigt, daß die Luft mit Wasser angereichert ist und deshalb die Pflanze weniger Wasser an

die Luft abgeben kann. In der wachsenden Pflanze findet also ein Austausch des Wassers statt, indem das durch die Wurzeln aufgenommene Wasser durch die Blattorgane wieder an die Luft abgegeben wird. Dieser Wasseraufnahme und -abgabe kommt für die ernährende Wirkung des Wassers die größte Bedeutung zu; die mit dem Wasser durch die Wurzeln aufgenommenen Nährstoffe werden in der Pflanze nach der Verdunstung und Abgabe des Wassers an die die Pflanze umgebende Luft abgelagert und für die ernährende Wirkung frei. Diese Wasserabgabe oder diese Transpiration ist mitbestimmend für die Wirkung der Düngemittel, aber auch für den Wasserbedarf der Pflanzen; daher wird der Wasserverbrauch der Pflanzen um so größer sein, je kräftiger die Pflanzen wachsen und, da letzteres von der Nährstoffaufnahme abhängig ist, diese um so größer sein, je mehr Wasser der Pflanze im Boden zur Verfügung steht. Mitscherlich stellte fest, daß die Nährstoffaufnahme durch die Pflanzen bei einem Wassergehalt, der 100% der wasserhaltenden Kraft des Bodens entspricht, am günstigsten ist. Eigene Versuche mit Pferdebohnen und Gerste auf Lehm- und Sandboden zeigten mit steigendem Wassergehalt des Bodens eine Zunahme des Ertrages; nach dem Gesamtergebnis dieser Versuche ist anzunehmen, daß zwischen Bodenfeuchtigkeit, Nährstoffaufnahme und Ertrag enge Beziehungen bestehen. Diese Parallelität zwischen dem Wasservorrat im Boden und der Erzeugung der Pflanzensubstanz steht in Übereinstimmung mit anderweitigen Erfahrungen. Auf die günstige Wirkung des Wassers auf die Entwicklung der oberirdischen Substanz und die Erweiterung des Verhältnisses von Stroh zu Korn bezw. der Begünstigung des Wachstums der Blattorgane im Verhältnis zu den Früchten, ferner auf die geringere Entwicklung des Wurzelnetzes bei größerem Wasservorrat im Boden sei hier nur hingewiesen; es sind dieses Feststellungen, die in nassen Jahren im praktischen Betriebe immer bestätigt werden. Von größerer Bedeutung für die Aufnahme und die Wirkung der Nährstoffe ist, daß der Wasserbedarf und dementsprechend auch der Wasserverbrauch je nach Art und Entwicklung der Pflanzen verschieden ist. Es wird die beste Wirkung der Nährstoffe zu erwarten sein, wenn zur Zeit des stärksten Wasserverbrauches, also zu der Zeit, in der die größte Menge Pflanzensubstanz gebildet wird, auch ausreichende Wassermengen zur Verfügung stehen und dementsprechend wird auch die in den einzelnen Wachstumsstadien verfügbare Wassermenge von großem Einfluß auf die Ausbildung der einzelnen Pflanzenteile wie Blattorgane und Früchte sein. Versuche von Hellriegel und anderen haben in Übereinstimmung mit praktischen Erfahrungen gezeigt, daß bei Körnerfrüchten durch Wassermangel in der Zeit bis zur Blüte die Erzeugung des Strohes leidet, dagegen die Kornerträge begünstigt werden, wenn nachher rechtzeitig Regen fällt und umgekehrt anfängliche

nasse Witterung die Strohproduktion fördert. Nach den Untersuchungen v. Seelhorsts haben Roggen, Gerste, Kartoffeln ein geringes, dagegen Weizen, Hafer, Klee ein großes Wasserbedürfnis. Unsere Versuche ergeben ebenfalls, daß Gerste weniger und weiter, daß Pferdebohnen viel Wasser erfordern; sie zeigen aber auch, daß die verschiedenen Sorten derselben Pflanzenart im Wasserbedarf nicht gleich sind; so wurde z. B. für die gleiche Einheit, nämlich für 1 g Pflanzentrockensubstanz berechnet, bei Salschützer Sommerweizen ein geringerer Wasserbedarf als bei rotem Bordeaux-Sommerweizen festgestellt und derselbe Unterschied bei Fichtelgebirgshafer und Strubes Schlanstedter Hafer beobachtet. Diese Feststellungen über die Wirkung des Wassers, die in jeder Weise sichergestellt sind, erschöpfen das Beweismaterial für den bestimmenden Einfluß des Wassers auf die Ernährung und Entwicklung der Pflanzen nicht; sie dürften aber an dieser Stelle genügen, um zu zeigen, daß der geregelte Wasserhaushalt im Boden die Grundlage für den Erfolg der Düngung bildet.

Einteilung der Düngemittel

Für die Düngung haben wir 2 Hauptgruppen von Stoffen zu unterscheiden, die in ihrer Zusammensetzung und besonders auch in ihrer Wirkung sehr voneinander unterschieden sind, nämlich:

1. die natürlichen Düngemittel, auch Wirtschaftsdünger genannt;
2. die künstlichen Düngemittel.

II. Die natürlichen Düngemittel

1. Allgemeine Bedeutung unter Berücksichtigung der Kohlensäurewirkung

Die Bezeichnung dieser natürlichen Düngemittel als Wirtschaftsdünger deutet bereits darauf hin, daß wir es hier mit Düngemitteln zu tun haben, die in der Wirtschaft selbst gewonnen werden; es sind dazu zu rechnen: Stallmist, Jauche einschließlich der menschlichen Exkremente, Kompost, Gründünger. Diese Wirtschaftsdünger unterscheiden sich von den sogen. künstlichen Düngemitteln im wesentlichen dadurch, daß die hauptsächlichsten Wirtschaftsdünger Stallmist und Gründünger, aber auch noch Kompost durch einen größeren Gehalt an organischen Stoffen ausgezeichnet sind und außerdem noch sämtliche Pflanzennährstoffe enthalten, während die künstlichen Düngemittel mit Ausnahme derjenigen organischen Ursprunges, die aber nur einen geringen Anteil ausmachen und auch hinsichtlich der Wirkung zurücktreten, nur die

wesentlichsten Pflanzennährstoffe, nicht aber auch zersetzungsfähige organische Stoffe in nennenswerter Menge enthalten. Die in den Wirtschaftsdüngern vorhandenen Pflanzennährstoffe genügen weder der Menge nach, noch in dem gegebenen Verhältnis zur Deckung des Nährstoffbedürfnisses der Pflanzen, vielmehr ist eine Ergänzung nötig, die durch die künstlichen Düngemittel erfolgt und deren Menge durch das Bedürfnis der Pflanzen für die einzelnen Nährstoffe, den Vorrat des Bodens daran bezw. die sonstige Düngung und den Nährstoffgehalt der Kunstdünger bestimmt wird. Die Kunstdünger sind daher als Ergänzungsdünger der Wirtschaftsdünger anzusprechen; sie können diese aber wegen des Mangels an organischen Stoffen niemals voll ersetzen.

Die große Bedeutung der organischen Stoffe für die Düngung, Bodenkultur und Pflanzennährung ist vielfach verkannt worden; sie ist früher gewiß oft überschätzt worden, solange man die Bedeutung der einzelnen Nährstoffe für die Ernährung der Pflanzen noch nicht genügend erforscht hatte; später ist sie vielleicht eben so oft unterschätzt worden, als man die günstige Wirkung der künstlichen Düngemittel feststellen konnte. Diese letztere Ansicht konnte nur da Platz greifen, wo man bei der Beurteilung der ersten günstigen Erfahrungen mit künstlichen Düngemitteln außer acht ließ, daß es sich dabei um die Wirkung dieser Düngemittel auf Böden handelte, die bis dahin nur mit Stallmist und anderen Wirtschaftsdüngern gedüngt waren, wo also ein Mangel an humusbildenden organischen Stoffen nicht vorhanden war, vielmehr eine Anreicherung damit stattgefunden hatte. Daß aber diese günstige Wirkung mit dem Verbrauche der organischen Stoffe im Boden zurückgehen muß, steht für alle außer Zweifel, die sich über die Bedeutung dieser organischen Stoffe bezw. ihrer Zersetzungsprodukte für die Bodenbeschaffenheit und die Pflanzenernährung klar sind; schon von Rosenberg-Lipinsky hat darauf hingewiesen, daß die Ertragsfähigkeit des Bodens mit der Abnahme der organischen Bestandteile im Boden sinkt, daß daher die Vermehrung des Humusgehaltes für die Fruchtbarkeit des Bodens bestimmend ist.

Die organischen Stoffe im Boden sind nur zum geringen Teil tierischen Ursprungs; in der Hauptsache rühren sie von Pflanzen oder Pflanzenteilen (Stoppelresten, Einstreu im Stallmist, Gründünger) her. Durch die Zersetzung dieser organischen Stoffe entstehen im Boden die dunkelgefärbten Stoffe, die wir als Humusstoffe zu bezeichnen pflegen. Ramann nimmt an, daß die Humusbildung in drei Etappen verläuft, die hier angegeben sein mögen, weil sie die Art der bei der Zersetzung der organischen Stoffe im Boden mitwirkenden Kräfte veranschaulichen und das Endergebnis erkennen lassen; er unterscheidet: 1. Stärkere oder schwächere Zersetzung der abgestorbenen organischen Reste durch chloro-

phyllfreie Organismen aller Art unter Erhaltung der organisierten Zellstruktur und mehr oder weniger der ursprünglichen Form; 2. Zerkleinerung der Massen durch die Tiere und Mischung mit den Mineralteilen des Bodens; 3. Zerstörung der organisierten Zellstruktur, Verbrauch der leichter angreifbaren Bestandteile der Abfallreste und Hervortreten der ausgesprochen kolloidalen Eigenschaften der noch erhaltenen organischen Verbindungen. Dementsprechend definiert Ramann die Humusstoffe als „Kolloidkomplexe wahrscheinlich sehr verschiedener Zusammensetzung, die aus unveränderten Kolloiden der ursprünglichen Pflanzensubstanz gemischt mit kohlenstoffreichen Zersetzungsprodukten bestehen". Wir haben es also bei den Humusstoffen mit Gemischen von mineralischen und vorwiegend organischen Stoffen zu tun, deren Charakter und Zusammensetzung in der Hauptsache durch die vorhandenen organischen Stoffe bestimmt werden. Die Verschiedenheit dieser Stoffe ist einmal dadurch gegeben, daß das Ursprungsmaterial verschieden ist, sodann aber auch dadurch, daß die Art und der Grad der Zersetzung der organischen Stoffe verschieden ist. Wir haben es dabei mit chemischen und biologischen Vorgängen zu tun, die teils zusammenwirken, teils nebeneinander herlaufen und sich unterstützen. Es wird in der „Bodenkunde" auf die Bildung und Zusammensetzung des Humus und auf seine Bedeutung für die physikalische Bodenbeschaffenheit, für die Regulierung der Durchlüftung, der Wasser- und Wärmeverhältnisse im Boden näher einzugehen sein; hier interessieren uns in der Hauptsache die bei der Humusbildung bezw. Humuszersetzung entstehenden Verbindungen und deren Einfluß auf die Pflanzenernährung, wobei aber nicht angenommen werden darf, daß die vorerwähnte Wirkung des Humus auf verschiedene Bodeneigenschaften von geringerer Bedeutung für die Pflanzenernährung ist. Von unmittelbarem Einfluß auf die Pflanzenernährung sind die durch die Umsetzung der Humusstoffe gelösten Nährstoffe; es sind in der Hauptsache Stickstoffverbindungen, die nach und nach umgesetzt und so zu einer langsam, aber anhaltend fließenden Stickstoffquelle für die Pflanzen werden. Dazu kommen die aus den Humusstoffen und den damit vermischten Mineralbestandteilen gebildeten Verbindungen von Kalk, Kali, Phosphorsäure usw. Aber am wesentlichsten ist uns hier die Kohlensäure und auf ihre Bedeutung für die Beurteilung des Wertes der organischen Stoffe im Boden bezw. den dem Boden zugeführten Düngemitteln soll hier eingegangen werden, damit bei der Besprechung der Düngemittel hierauf verwiesen werden kann. Es gilt nicht, den Einfluß der durch die bakterielle Zersetzung der humusbildenden organischen Stoffe entstandenen Kohlensäure auf die mineralischen Bodenbestandteile darzulegen; es wird dieses in der „Bodenkunde" geschehen und dabei dargelegt werden, in welchem Grade hierdurch Bodennährstoffe aufgeschlossen und für die Pflanzenernährung ausnutzbar gemacht werden. Hier kommt es darauf

an zu prüfen, ob die durch die Zersetzung der Humusstoffe im Boden gebildete Kohlensäure für die Pflanzenernährung unmittelbar Verwendung finden kann, dadurch also gewissermaßen eine Kohlensäuredüngung herbeigeführt wird. Der Einfluß der Kohlensäure auf das Pflanzenwachstum ist unbestritten. Ebenso begegnet die Ansicht keinem Widerspruch, daß der Kohlensäuregehalt der Luft mit 0,03 Vol. % nicht das Optimum des Kohlensäurebedarfs der Pflanzen bedeutet; die Versuche von Kreußler, Godlewsky u. a. m. lassen darüber keinen Zweifel. Ob, wie Lemmermann angibt, dieses Kohlensäure-Optimum der Pflanzen bei 1% Kohlensäure zu suchen ist, muß dahingestellt bleiben, da hierüber noch genaue Feststellungen fehlen; für diese Erörterungen ist es ohne Bedeutung. Wir dürfen als zutreffend ansehen, daß durch eine Erhöhung dieser Kohlensäuremenge in der Luft über 0,03 Vol. % hinaus der Ertrag an Pflanzenmasse gesteigert wird; in welchem Grade dieses der Fall ist, muß durch Versuche noch näher festgestellt werden. Erst wenn dieses in einwandfreier Weise geschehen und nachgewiesen ist, daß diese Vermehrung des Kohlensäuregehaltes der Luft allgemein oder auch im Bereich der die Kohlensäure aufnehmenden Pflanzenteile eine Ertragssteigerung zur Folge hat, also einen wirtschaftlichen Nutzen bringt, entsteht für uns die Frage, in welcher Weise diese Erhöhung des Kohlensäuregehaltes erreicht werden kann. Die Versuche, welche in ersterer Richtung durchgeführt worden sind, geben kein einheitliches Bild über die Ertragssteigerung durch die vermehrte Kohlensäurezufuhr; sie lassen zunächst den Erfolg nicht allzugroß erscheinen in den Fällen, in denen die Versuchsdurchführung einwandfrei ist. Es ist klar, daß der Abbau der kohlenstoffhaltigen Substanzen im Boden je nach der Beschaffenheit dieser Substanz, nach der Bodenwärme, nach dem Wassergehalt und der Durchlüftung des Bodens schneller oder langsamer verläuft und dementsprechend die Menge der entstehenden Kohlensäure verschieden groß ist; sie ist in den wärmeren Sommermonaten in der Regel größer als in den kälteren Wintermonaten, in den feuchteren Böden höher, als in den trockenen Böden, im leichteren Boden niedriger als im schweren Boden u. s. f.; die Untersuchungen von Boussingault, Pettenkofer, Ebermayer, insbesondere von E. Wollny und anderen bieten uns gute Unterlagen für die Beurteilung der verschiedenen Faktoren, die auf den Kohlensäuregehalt des Bodens einwirken. Wir konnten durch unsere Versuche, soweit sie in der Richtung der Versuche Wollnys lagen, die Ergebnisse dieser Versuche im allgemeinen bestätigen. Aus diesen Untersuchungen dürfen wir folgern, daß je nach den hier angegebenen Verhältnissen im Boden die Menge der gebildeten Kohlensäure schwankt. Daraus folgt weiter, daß auch die aus dem Boden abströmende Kohlensäure verschieden ist. Wir müssen infolgedessen zu der Ansicht kommen, daß wir es bei der Kohlensäurebildung im Boden und

der Kohlensäureabgabe des Bodens an die Luft mit einer Standortserscheinung zu tun haben, die eine örtliche Beeinflussung des Kohlensäuregehaltes der Luft an sich nahelegt. Dabei wird zunächst die Kohlensäuremenge in den unteren, der Bodenfläche näheren Luftschichten größer sein als in den oberen Luftschichten; doch wird sich bald ein Ausgleich einstellen. Hierüber gehen die Ansichten noch weit auseinander und sind zur Klärung noch Versuche notwendig. Während besonders Bornemann, Reinau, Fischer, Riedel annehmen, daß diese aus dem Boden abströmende Kohlensäure den Pflanzen, mit denen der Boden bestanden ist, zugeführt und von ihnen ausgenutzt wird, so daß größere Pflanzenmassen erzeugt werden, sind andere Forscher wie M. Gerlach, A. Rippel, O. Lemmermann der Ansicht, daß die vom Boden abgegebene Kohlensäure sich bald mit der atmosphärischen Luft vermischt und dann auf dem Umwege durch die Atmosphäre in verdünnterer Form den Pflanzen verfügbar wird; an sich sehen die letzteren in dieser Zufuhr von Kohlensäure aus dem Boden keinen das Wachstum der Pflanzen wesentlich fördernden Faktor. Rippel hat noch besondere Berechnungen darüber angestellt, wie die Pflanze die aus dem Boden abströmende Kohlensäure ausnutzt. Er berechnet, daß, wenn man mit Lundegardh annimmt, daß die Kohlensäureproduktion in einem guten Ackerboden je qm und Stunde 0,4 g beträgt — eine Annahme, die recht hoch erscheint — die Kohlensäuremenge von 1 ha für eine Wachstumsdauer von 100 Tagen rund 9600 kg beträgt. Sommergerste produziert in dieser Zeit 5000 kg Trockensubstanz, die als Kohlenhydrat angenommen 7333 kg Kohlensäure entsprechen. Hiernach wäre die Bodenkohlensäure unmittelbar fast quantitativ in die Pflanzensubstanz übergegangen, ohne den Umweg über die Atmosphäre zu nehmen. Rippel weist aber darauf hin, daß der Wachstumsverlauf der Gerste eine S-Kurve darstellt und daher diese Berechnung nicht rechtfertigt; er sagt, daß nur in einem kleinen Teil des Entwicklungsverlaufes sich Kohlensäureproduktion des Bodens und Kohlensäureverarbeitung seitens der Pflanze decken, daß zwar im Anfange und am Ende der Wachstumszeit bei einer Kohlensäureproduktion des Bodens von 0,2 g je qm und Stunde nur 15,5% der während dieser Zeit erzeugten Kohlensäure verloren gehen, dafür in der Zwischenzeit 81% der produzierten Bodenkohlensäuremenge aus der Atmosphäre entnommen werden müßten, daß bei 0,4 g Kohlensäure je qm und Stunde fast 50% der während 60 Tagen produzierten Menge verloren gehen. Diese Angaben genügen und braucht aufdiese Berechnungen im einzelnen nicht eingegangen zu werden; ich führe sie nur als Beispiel dafür an, daß man mit einem unmittelbaren Übergang der Bodenkohlensäure auf die Pflanzen doch nur in begrenztem Grade rechnen kann, daß ein erheblicher Teil davon erst auf dem Umwege über die Atmosphäre der Pflanzenernährung zu Gute kommt. Weiter vergleicht

Rippel die Kohlensäureproduktion des Bodens innerhalb 24 Stunden mit der Substanzproduktion der Pflanzen, welche letztere aber nicht 24 Stunden, sondern nur etwa 8 Stunden stattfindet und sagt darüber: „Wenn die täglich gebildete Kohlensäure voll aufgenommen werden soll, muß sie während der Nacht voll im Pflanzenbestande erhalten bleiben. Während der 16 Stunden der Nichtverarbeitung müßten also pro 1 qm $16 \times 0{,}4 = 6{,}4$ g Kohlensäure gebildet sein, so daß die darüber stehende Luftschicht bis zu 50 cm Höhe einschließlich der atmosphärischen Kohlensäure einen Gehalt von 0,73 Vol. % oder 13,35 mg im Liter enthalten müßte, wenn morgens die Verarbeitung einsetzt. Auch bei einer Kohlensäureproduktion von 0,2 würden sich noch die sehr hohen Zahlen 0,38 Vol.-% oder 6,95 mg Kohlensäure im Liter ergeben.“ Diese und andere von Reinau mitgeteilten Zahlen über den Kohlensäuregehalt der Luft am Boden lassen mit einem höheren Kohlensäuregehalt in den unteren Bodenschichten in der Nacht rechnen, legen aber auch die Annahme sehr nahe, daß die nachts gebildete Kohlensäure zu einem erheblichen Teil in die atmosphärische Luft entweicht, und erst auf diesem Umwege wieder an die Pflanzen gelangt. Bei aller Anerkennung der Bedeutung der im Boden erzeugten Kohlensäure für das Pflanzenwachstum wird man doch Rippel zustimmen müssen, daß man hierbei die Wirkung einer erhöhten Kohlensäurekonzentration und die Bedeutung der Bodenkohlensäure als Standortsfaktor für die Pflanzen nicht überschätzen soll, daß man beide Faktoren aber beachten und prüfen muß, wie man ihnen im praktischen Betriebe Rechnung tragen kann.

Dabei kommt einmal die Erzeugung von Kohlensäure im Boden durch die Zersetzung der organischen Stoffe aus Düngemitteln, Gründünger, Ernterückständen in Frage, ferner die unmittelbare Zuführung von Kohlensäure. Auf die Wirkung der ersteren Düngemittel und Rückstände wird später eingegangen werden; hier sei nur hervorgehoben, daß die Regulierung der Kohlensäureerzeugung dieser Art mit Schwierigkeiten verbunden ist, so daß noch besondere Untersuchungen darüber nötig sind, die sich auch besonders darauf zu erstrecken haben, wie die im Boden erzeugte Kohlensäure möglichst verlustlos den Pflanzen zugeführt werden kann. In dieser Weise wird man auch am besten Unterlagen für eine richtige Würdigung der direkten Wirkung der Bodenkohlensäure auf das Pflanzenwachstum schaffen. Dabei wird auch des Einflusses der Brache auf den Kohlensäurehaushalt des Bodens gedacht werden müssen, worauf bisher wohl weniger Rücksicht genommen wurde.

Für die unmittelbare Zuführung der Kohlensäure also für die direkte Kohlensäuredüngung kommt in der Hauptsache die Abfallkohlensäure der Industrien, der Kalköfen, der Feuerungsgase usw. in Frage.

Nernst hat auch darauf hingewiesen, daß durch die Verbrennung der Kohlen der Kohlensäuregehalt der Luft vermehrt werden könne, ein Vorschlag, der kaum jemals praktische Bedeutung erlangen wird. Es unterliegt keinem Zweifel, daß diese Vermehrung der Kohlensäure der Luft und damit die direkte Kohlensäuredüngung der Pflanzen für die große landwirtschaftliche Praxis kaum Bedeutung erlangen wird; vielleicht ist damit ein Weg gezeigt, der in Gärtnereien oder ähnlichen Kleinbetrieben zu Erfolgen im Pflanzenbau führen kann. Dieses ist nach den Ergebnissen der Versuche Riedels, die zwar nicht unbeanstandet geblieben sind, wohl zu erwarten.

Es war vorauszusehen, daß die Luftdüngung mit Kohlensäure zur Herstellung besonderer Dünger hierfür Anlaß geben würde. Als Beispiele dafür seien nur folgende erwähnt; sie genügen zum Beweise dafür, daß bei ihrer Wertbeurteilung Vorsicht und Zurückhaltung geboten ist. Der sogen. Bayerische Kohlensäuredünger der chemischen Werke Bayern in München soll ein Gemisch aus 50% Torf, 45% Holzkohle und 5% Braunstein sein, hat aber nach den vorliegenden Untersuchungen nicht unwesentliche Mengen von künstlichem Dünger enthalten; M. Gerlach berechnet diese Menge bei Anwendung von 10 dz dieses Düngers je ha auf 1,40 dz schwefelsaures Ammoniak, 1,12 dz Salpeter, 1,35 dz 40% Kalisalz und 4,20 dz Thomasmehl. Ein anderer Kohlensäuredünger, das Germanol der Germanol-Gesellschaft für Luftdüngung ist nach E. A. Mitscherlich eine Mischung von Erde mit etwa 18% kalzinierter Soda. Es kann nicht überraschen, daß eine Kohlensäurewirkung dieser Gemische ausgeblieben ist. Auf diesem Wege wird die Frage der Kohlensäuredüngung der Pflanzen nicht zu lösen sein.

2. Stallmist und Jauche

Unter den Wirtschaftsdüngern steht der Stallmist an erster Stelle. Er ist dadurch besonders ausgezeichnet, daß er neben den humusbildenden organischen Stoffen auch alle Pflanzennährstoffe enthält, allerdings nicht in den Mengen, die für eine Vollernte nötig sind. Aber die Vereinigung der humusbildenden Stoffe mit den Nährstoffen macht den Stallmist als Düngemittel wertvoll und läßt ihn als gute Grundlage der Düngung allgemein erscheinen. Der Stallmist besteht aus den tierischen Exkrementen und der Einstreu. Es wird zur richtigen Beurteilung des Stallmistes erforderlich sein, daß wir uns über den Wert dieser Bestandteile unterrichten.

a) Menge und Zusammensetzung der tierischen Exkremente

Der Zweck der Haltung und Fütterung unserer Tiere ist die Erzeugung von Nahrungsmitteln wie Fleisch, Fett, Milch oder von anderen Stoffen wie Wolle usw., ferner die Bildung von Wärme und Kraft. Was

von dem tierischen Körper für diese Zwecke aus dem Futter nicht ausgenutzt wird, wird von den Tieren im Kot und im Harn ausgeschieden, sofern nicht Verluste daran in gasförmigem Zustande als Wasserdampf, Kohlensäure usw. durch Haut und Lunge eingetreten sind. Wir haben es also in den tierischen Exkrementen mit den unverdauten und im tierischen Verdauungsapparat nicht ausgenutzten Bestandteilen des Futters zu tun. Durch die Einwirkungen im tierischen Verdauungsapparat haben diese Futterbestandteile zum Teil aber doch eine gewisse Umsetzung und Zersetzung erfahren, die für die Zusammensetzung der Exkremente nicht ohne Bedeutung ist.

Im Kot haben wir in der Hauptsache die unverdauten Futterreste und die wasserunlöslichen Umsetzungsstoffe, im Harn vor allem den Stickstoff des Futters, allerdings nicht mehr in der ursprünglichen Bindungsform, sondern in Harnstoff und Hippursäure, sowie in geringer Menge in Harnsäure umgesetzt, d. h. in Verbindungen, die im Vergleich mit den schwerlöslichen Stickstoffverbindungen des Kotes leicht zersetzt werden können und dabei in flüchtige Verbindungen übergehen. Die bei diesen Zersetzungsvorgängen im tierischen Organismus sich abspielenden Abbauprozesse der organischen Stoffe führen die Schwefel-, Phosphor-, Kali- und anderen Verbindungen wieder in organische Verbindungsformen zurück und machen sie in dieser Weise wieder der Pflanzenernährung nutzbar. Wir finden bei den Pflanzenfressern, zu denen unsere Haustiere gehören, Schwefel-, Phosphor-, Kalk-, Magnesia-Verbindungen vorwiegend im Kot, Kali und Natron im Harn abgeschieden.

Die Menge und die Zusammensetzung der Exkremente ist je nach der Tierart verschieden; sie ändern sich auch bei derselben Tierart je nach Alter und Haltung der Tiere und sind dabei besonders von der Fütterung, d. h. vor allem von der Menge und der Zusammensetzung der Futtermittel abhängig. Diese verschiedenartigen Faktoren lassen die Angaben von sicheren Unterlagen für die Berechnung der Menge und der Zusammensetzung der Exkremente nicht zu. Man kann auf Grund der Ergebnisse der Versuche von E. Wolff, W. Henneberg, F. Stohmann u. a. m. annehmen, daß 100 Teile Futtertrockensubstanz rund 43% Kot und 6% Harn entsprechen, also im Kot und Harn rund 49% der Futtertrockensubstanz wieder erscheinen. Auf die Abweichungen bei den einzelnen Tierarten komme ich noch zurück. Als Anhalt für die durchschnittliche Zusammensetzung von Kot und Harn der hauptsächlich in Frage kommenden Tiere können die nachstehenden Zahlen dienen, die je nach der Fütterung, Pflege und Nutzung der Tiere Schwankungen unterliegen: Tabelle Seite 32.

Pferdekot ist entsprechend der verhältnismäßig trockenen Fütterung der Pferde trockener und aus demselben Grunde die Harnmenge im Verhältnis zur Kotmenge geringer. Von rund 22 kg Kot und Harn

	Wasser	Organische Substanz	Stickstoff	Kalk	Kali	Phosphorsäure
	%	%	%	%	%	%
1. Kot von:						
Pferd . .	75,8	21,0	0,44	0,15	0,35	0,35
Rindvieh .	83,8	14,5	0,29	0,14	0,10	0,17
Schaf . .	65,5	31,4	0,55	0,46	0,25	0,31
Schwein .	81,5	15,0	0,60	0,09	0,26	0,41
2. Harn von:						
Pferd . .	90,1	7,1	1,55	0,25	1,50	0,05
Rindvieh .	93,8	3,5	0,58	0,06	1,30	0,05
Schaf . .	87,2	8,3	1,95	0,16	2,26	0,20
Schwein .	96,7	2,8	0,43	0,01	0,83	0,07

je Pferd entfallen etwa 19,5 kg auf Kot und 2,5 kg auf Harn. Der Harn ist stickstoffreich. Die Stickstoffverbindungen sind leicht zersetzlich und zeigt sich dieses stets durch einen starken Ammoniakgeruch in den Pferdeställen an.

Rinderkot ist infolge der stärkeren Wasseraufnahme, die auf 1 kg Futtertrockensubstanz 4—6 kg beträgt, wasserhaltiger. Der Rinderharn ist weniger konzentriert als Pferdeharn; die oben angegebenen Zahlen zeigen, daß der Stickstoffgehalt des ersteren rund $^1/_3$ desjenigen des letzteren ausmacht. Bei einem Lebendgewicht der Tiere von 500 kg kann man mit etwa 36 kg Kot und Harn rechnen; davon sind 24 kg Kot und 12 kg Harn. Der Rindviehkot trocknet infolge des Luftabschlusses durch schleimige Darmausscheidungen nur langsam, bleibt daher länger feucht und zersetzt sich nur langsam. Auch in dem stark wasserhaltigen Harn vollziehen sich die Zersetzungsvorgänge nur allmählich. Wir können deshalb von den Exkrementen des Rindviehs nur eine langsame Wirkung erwarten. Gerade beim Rindvieh schwankt aber die Fütterung sehr, sowohl der Menge des Futters, wie auch der Menge der Nährstoffe nach. Besonders bei der Mast werden den Tieren im Futter mehr Nährstoffe gegeben, als ausgenutzt werden können, so daß nährstoffreichere Exkremente verwertet werden können. Deshalb müssen wir beim Rindvieh mit einer stark schwankenden Zusammensetzung der Exkremente rechnen, die ihren Wert sehr beeinflussen kann.

Schafkot ist nach den obigen zahlenmäßigen Angaben über die Zusammensetzung der Exkremente der verschiedenen Tierarten am wasserärmsten, der Harn am konzentriertesten und stickstoffreichsten. Man kann auf 100 kg Lebendgewicht rund 5,5 kg Kot und Harn rechnen; davon entfallen 4,7 kg auf Kot und 0,8 kg auf Harn. Der frische Schafmist ist daher verhältnismäßig trocken; er zersetzt sich leicht.

Schweinekot ist wässerig, trocknet leicht aus und zerfällt dann bald. Der Harn des Schweines ist wenig konzentriert. Hierfür gilt

noch mehr als für die Exkremente des Rindviehes, daß die verschiedene Fütterung die Zusammensetzung der Exkremente stark beeinflußt.

Hiernach lassen sich die hauptsächlichsten Kot- und Harnarten in zwei Hauptgruppen zusammenfassen, indem man die Exkremente vom Pferd und Schaf als die wasserärmeren und konzentrierteren als hitzig wirkend, diejenigen vom Rind und Schwein als wasserreichere und weniger konzentriert als kälter wirkend bezeichnet. Daraus folgt von selbst, daß es zur Erzielung eines einigermaßen gleichmäßigen Mistes nötig ist, für eine gute Vermischung dieser verschiedenen Exkremente Sorge zu tragen.

Die Ausscheidungen der übrigen Nutztiere haben, da sie nur in geringer Menge abfallen, weniger Bedeutung; Heiden gibt die jährlich erzeugte Menge Exkremente an bei Tauben mit 2,75 kg, Hühnern mit 5,5 kg, Gans mit 11 kg und bei Enten mit 8,5 kg. Die Exkremente des Geflügels lassen sich nach der Zusammensetzung ebenfalls in zwei Gruppen zusammenfassen; diejenigen der Hühner und Tauben enthalten weniger Wasser und sind daher im Nährstoffgehalt konzentrierter, dagegen sind die Exkremente der Gänse und Enten wasserreicher und stehen dementsprechend im Nährstoffgehalt und in der Wirkung zurück. Ich beschränke mich darauf, die folgenden von H. K. Müller in seiner „Düngerlehre“ mitgeteilten Zahlen für die Zusammensetzung dieser Exkremente wiederzugeben:

	Stickstoff %	Kalk %	Kali %	Phosphorsäure %
Hühner	1,2—4,1	2,4—6,8	0,8—2,3	1,1—2,6
Tauben	1,5—5,0	1,6	0,7—2,6	1,0—2,8
Gänse	0,6	0,8	1,0	0,5
Enten	1,0	1,7	0,6	1,4

Diese Zahlen zeigen deutlich den Unterschied der Zusammensetzung der Exkremente dieser Geflügelarten; vor allem bleiben die Exkremente der Gänse im Nährstoffgehalt zurück.

Wo bei der geringen Menge dieser Exkremente ihre unmittelbare Verwendung zur Düngung nicht in Frage kommt, sollte man die Nutzung bei der Kompostbereitung nicht außer acht lassen.

Auch Ziegen- und Kaninchenexkremente haben bei der Düngung wegen ihrer geringen Menge nur eine geringe und dabei noch meistens eine lokale Bedeutung; ich gebe deshalb auch hierfür nur kurz die Zusammensetzung an, die einen Anhalt für die Beurteilung des Düngerwertes gibt; es enthalten im wasserhaltigen frischen Zustande:

	Stickstoff %	Kalk %	Kali %	Phosphorsäure %
Kot von Kaninchen . .	1,10	0,13	2,72	1,21
Kot von Ziegen . . .	1,24	1,28	1,82	2,14
Harn von Ziegen . . .	1,90	0,16	0,59	0,12

b) Einstreumittel

Die tierischen Exkremente geben mit der Einstreu den Stalldünger oder Mist einerseits und andererseits in den zusammen mit festen Bestandteilen abfließenden flüssigen Ausscheidungen, dem Harn, die Jauche. In dem Stalldünger sind also in der Hauptsache die Kotbestandteile, zum Teil mit Harn vermischt, enthalten, während wir in der Jauche im wesentlichen den Harn haben. Die Einstreu ist ein wesentlicher Bestandteil des Mistes; sie ist zur Aufnahme der tierischen Exkremente nötig, einmal um für die Tiere ein trockenes und gesundes Lager zu schaffen, dann aber auch zur besseren Verteilung der Exkremente bei ihrer Verwendung zur Düngung. Beide Gesichtspunkte sind bei der Auswahl der Einstreumittel zu beachten. Dazu kommt natürlich noch, welche Pflanzennährstoffe die verschiedenen Einstreumittel enthalten, da hierdurch der Düngewert des Mistes entsprechend erhöht wird. In sehr vielen Fällen ist die Auswahl der Einstreumittel von örtlichen Verhältnissen abhängig und wird sie dabei von den in der betreffenden Wirtschaft vorhandenen, zur Einstreu geeigneten Mitteln bestimmt.

Daraus erklärt sich auch, daß in den meisten Wirtschaften das Getreidestroh als Einstreumittel an erster Stelle steht; es ist für die eigene Wirtschaft am billigsten und im übrigen für die Einstreu gut geeignet, da es die an gute Einstreu gestellten Bedingungen erfüllt, indem es den Tieren ein trockenes warmes Lager gibt, welches sie gegen Verunreinigung mit den eigenen Exkrementen schützt. Die Aufnahmefähigkeit des Strohes für Feuchtigkeit ist ebenfalls günstig; sie wird noch erhöht, wenn das Stroh gehäckselt eingestreut wird. Es ist beobachtet worden, daß bei Verwendung von gehäckseltem Stroh fast die ganze Jauche aufgesaugt wird, so daß ein Abfluß von Jauche nicht eintritt, eine Feststellung, die zur allgemeinen Anwendung von gehäckseltem Stroh als Einstreu führen sollte, wenn es gelingt, die mit der Jauche in den Mist gebrachten Pflanzennährstoffe, besonders den Stickstoff zu erhalten. Dazu kommt noch, daß die Vermischung der gesamten Exkremente mit der zerkleinerten Einstreu eine gleichmäßigere Verteilung der Exkremente auf dem Felde ermöglicht und das Unterbringen des Mistes auf dem Acker erleichtert. Von den verschiedenen Getreidestroharten wird in erster Linie das Stroh des Wintergetreides zur Einstreu verwendet.

Dem Getreidestroh ist in seinem Werte als Einstreumittel die Torfstreu in mancher Hinsicht überlegen. Für die Bewertung ist ihr Wassergehalt wesentlich. Dieser sollte bei guter Torfstreu nicht über 35% hinausgehen, bei Handelsware zweiter Güte 40% nicht überschreiten; bei mehr als 45% ist die Torfstreu nicht lieferbar. Leider haben bisher mit der Torfstreuindustrie darüber noch keine bindenden Festsetzungen getroffen werden können. Ihre Vertreter glauben nach den Angaben von Tacke durch „die Gewährleistung eines bestimmten Volumens von Torfstreu und Torfmull für ein bestimmtes Gewicht bei einem gewissen Pressungsverhältnis der Ballen eine ausreichende Sicherheit für die Beschaffenheit der Ware zu liefern". Diese Ansicht entspricht nicht den tatsächlichen Verhältnissen. Die Zusammensetzung und die sonstigen Eigenschaften der Torfstreu wechseln sehr nach der Herkunft. Nach den Untersuchungen von M. Fleischer schwankte das Volumgewicht von 1 cbm frischem Moostorf von 62—138 kg Torf-Trockensubstanz. 100 Teile trockenen Moostorfes saugten 990 bis 1775 Teile Wasser auf. A. König fand bei seinen an der Moorversuchsstation in Bremen ausgeführten Untersuchungen, daß aus einer Lösung von kohlensaurem Ammoniak durch 100 Teile trockenes Moor absorbiert wurden durch reinen Moostorf 1,37—1,55 Teile Stickstoff, durch Heideerde 1 Teil Stickstoff und durch Gras-Holzmoor 0,68—0,84 Teile Stickstoff, daß also der Moostorf das größte Bindungsvermögen für Ammoniak gehabt hat; auf diese Verhältnisse bei anderen Einstreumitteln komme ich nachher zurück. Anscheinend ist das Aufnahmevermögen des Torfes für Ammoniak um so größer, je geringer der Gehalt an mineralischen Aschenbestandteilen ist. I. H. Vogel folgert aus den Untersuchungen von M. Fleischer, daß für gute Torfmull zu fordern ist: 1. größtes Aufsaugungsvermögen für Flüssigkeiten, 2. größtes Bindungsvermögen für Gase, 3. höchster Gehalt an freien Humussäuren, 4. geringer Gehalt an Aschenbestandteilen. Diese Eigenschaften müssen auch bei gutem Einstreutorf vorausgesetzt werden. Er soll nach Br. Tacke locker, weich, elastisch und möglichst frei von Staub sein und weder größere, nicht zerkleinerte, noch harte Stücke, insbesondere Holz enthalten. Tacke folgert aus seinen Versuchen, „daß die Futterausnutzung durch die Tiere bei Torfstreuanwendung viel besser ist als auf jeder anderen Streu, weil diese sich schneller und länger hinlegen. Die Stalluft, besonders in Pferdeställen, bleibt bei Torfeinstreu rein und frei von Ammoniak. Alle Einwendungen gegen den Gebrauch von Torfstreu als Einstreumittel für Pferde, Rindvieh, Schweine usw. und die Behauptungen über angeblich damit verbundene Schäden sind hinfällig, wenn gute Torfstreu in richtiger Weise verwendet wird". Gegenüber anderen Moorbildungen hat Moostorf weniger Stickstoff und Kalk; nach den Untersuchungen von M. Fleischer schwankte der Gehalt an Stickstoff von

0,44—1,29%, an Kalk von 0,10—0,93%, der Gehalt an Kali kam nicht über 0,04%, an Phosphorsäure nicht über 0,07% hinaus, alles auf trockene Moormasse berechnet.

Im Gegensatz zu Moostorf ist Heidetorf zur Gewinnung einer guten Einstreu-Torfstreu weniger geeignet; das Bindungsvermögen für Ammoniak ist kaum $^1/_3$ desjenigen von Moostorf, das Wasseraufsaugungsvermögen erheblich geringer und dabei wird der Heidetorf beim Austrocknen hart und dicht, während Moostorf eine lockere, poröse und elastische Struktur behält.

Neben Stroh- und Torfstreu kann noch besonders in waldreichen Gegenden der Waldstreu eine besondere Bedeutung als Einstreumittel zukommen, in manchen Fällen schon deshalb, weil es sich dabei um die Ausnutzung alter Gerechtsame handelt, die aus leichtverständlichen Gründen die Forstverwaltung aufgehoben sehen möchte. Der Unterschied zwischen diesen drei Einstreumitteln in ihrem Nutzungswert ergibt sich aus neueren Untersuchungen von F. Mach, die hier mitzuteilen sind. Bei der Waldstreu handelt es sich um Laubstreu, welche im Vergleiche mit Nadelstreu besser ist, weil ihr Aufsaugungsvermögen für Flüssigkeiten und auch ihre Zersetzungsfähigkeit günstiger ist. Nach den Angaben von Mach sind in der Trockensubstanz vorhanden gewesen:

Einstreumittel	Stickstoff %	Kalk %	Kali %	Phosphorsäure %
Moostorf	0,80	0,25	0,03	0,04
Winterhalmstroh	0,52	0,34	1,11	0,29
Laubstreu ($^2/_3$ aus Buchenlaub und $^1/_3$ aus Eichen- und Ahornlaub)	1,29	1,93	0,15	0,17

Hiernach ist der Gehalt der Laubstreu an Stickstoff erheblich, jedoch darf bei der Bewertung nicht übersehen werden, daß die Stickstoffverbindungen nur sehr schwer zersetzlich sind, ähnlich wie es beim Stickstoff des Moostorfes der Fall ist, so daß man seine Wirkung nicht hoch einschätzen kann. Dabei ist aber zu beachten, daß der Moostorf erheblich mehr Stickstoff bindet und dadurch den Vorzug verdient. So fand Mach bei seinen Versuchen auf je 100 g Trockensubstanz bezogen folgende Werte, wenn er Einstreumittel in flacher Schale mit verdünntem Ammoniak (in einer Menge, die dem Stickstoffgehalt des frischen Pferdeharns entsprach) gut durchfeuchtete und so lange bei 40° trocknete, bis eine Verflüchtigung von Ammoniak nicht mehr eintrat. Tabelle S. 37.

Die Zahlen zeigen, daß unter gleichen Verhältnissen Torfstreu rund 10 mal soviel Stickstoff bindet wie Stroh, aber nur 4 mal soviel wie Laubstreu oder 5 mal soviel wie Sägemehl. Die Laubstreu verhält sich nach Torfstreu am besten und bindet das Ammoniak um rund $3\,^1/_2$ mal besser als Stroh.

Einstreumittel	Ammoniakstickstoff		
	Ursprünglich vorhanden g	Nach dem Durchtränken und Trocknen vorhanden g	Festgehalten g
Torfmull	0,080	2,083	2,003
Torfstreu	0,060	2,079	2,019
Stroh	0,049	0,211	0,162
Laubstreu	0,036	0,620	0,584
Sägemehl	0,00	0,399	0,399

Das Aufsaugungsvermögen für Flüssigkeit stellt Mach für die lufttrockene Masse, für die er bei Torfstreu 30%, bei Stroh- und Waldstreu als Durchschnitt 15% Feuchtigkeit annimmt, für 100 Teile fest wie folgt:

bei Torfstreu auf 740—1070 Teile,
„ Strohstreu „ 315— 390 „
„ Waldstreu „ 280— 350 „

Die Waldeinstreu bleibt hier also nicht wesentlich hinter Stroheinstreu zurück.

Nach den oben angegebenen Versuchsergebnissen von Mach ist das Ammoniak-Bindungsvermögen des Sägemehls günstiger als dasjenige des Strohes. Auch sein Wasseraufsaugungsvermögen ist etwas besser als bei Stroh. Aber dennoch steht der mit Sägemehl erhaltene Mist dem Strohmist sehr nach. Abgesehen davon, daß der Gehalt des Sägemehles an Pflanzennährstoffen geringer als derjenige des Strohes ist, steht das Sägemehl auch deshalb als Einstreumittel zurück, weil die festen Exkremente sich nicht gut mit dem Sägemehl vermischen, der erhaltene Mist daher von ungleichmäßiger Beschaffenheit ist, sich nur langsam zersetzt und im frischen Zustand auf das Pflanzenwachstum nicht günstig wirkt.

Mehr örtlichen Wert haben die Heideplaggen als Einstreu, die aus der Heidekrautdecke mit der darunter liegenden Bodenschicht bestehen. Wenn sie gut getrocknet sind, bieten sie den Tieren ein gutes trockenes Lager, da sie in der Aufnahme der Feuchtigkeit dem Stroh nicht viel nachstehen. Im übrigen bleiben die Heideplaggen aber insbesondere hinsichtlich des Gehaltes an Pflanzennährstoffen und der Zersetzlichkeit der organischen Stoffe zurück. Das Heidekraut für sich steht den Heideplaggen im Werte als Einstreu nach.

Andere Einstreumittel wie Kartoffelkraut, Schilf, Teichstreu, Gerberlohe und andere Abfälle mehr sind nur gelegentlich, etwa in Jahren, in denen andere Einstreu fehlte, verwendet worden; sie haben auch nur einen geringen Wert für diesen Zweck. Auch Erde

ist hierher zu rechnen; wenn sie trocken ist, ist sie zwar als Einstreu geeignet, doch ist die nötige Menge nicht gering (etwa 1 Ztr. je Stück Großvieh täglich), und wird dadurch ihre Anwendung teuer. Man kann daran sparen, wenn man über die Erde eine dünne Strohschicht legt. Ich gehe auf diese letzteren Einstreumittel nicht näher ein und beschränke mich auf die folgenden kurzen Angaben über das Aufsaugungsvermögen nach den Mitteilungen von Nolte. Dieses war berechnet auf 100 g lufttrockene Substanz bei: Sägemehl 357, Nadelstreu 150, Moosstreu 283, Heidekraut 139, Heideplaggen 198, Erde 55, Gerberlohe 215.

Es bedarf keiner weiteren Darlegungen, daß die angegebenen Zahlenwerte nur Durchschnittswerte sind, die sich je nach den besonderen Verhältnissen ändern; sie bieten uns aber einen Anhalt für die Beurteilung des Wertes der angegebenen Mittel als Einstreumittel; mehr soll auch durch die Wiedergabe nicht bezweckt werden. Die Unterschiede dieser verschiedenen Einstreumittel sind nach den angegebenen Zahlen ohne weiteres klar; es genügt hierfür als Beispiel die Wiedergabe eines Untersuchungsergebnisses des mit den beiden hauptsächlichsten Einstreumitteln: Stroh und Torfstreu erhaltenen Mistes, welches M. Fleischer bekannt gegeben hat; darnach enthielt der pro Tag und Kopf erzeugte Dünger:

	bei Stroheinstreu	bei Torfeinstreu
Gesamtstickstoff . . .	149,6 g	171,4 g
davon leicht löslich	3,3 g	18,9 g
davon schwer löslich	146,3 „	152,5 „
Kalk	87,5 g	79,6 g
Kali	161,2 „	148,4 „
Phosphorsäure	78,1 „	71,9 „

Die Eigenschaften des Einstreumaterials, insbesondere das Wasseraufsaugungsvermögen bestimmen die zur Einstreu nötige Menge. Ich beschränke mich auch hier wieder auf die Mengengabe für Stroh und Torf; die Zahlen für die anderen Einstreumittel sind bei der großen Verschiedenheit in der Beschaffenheit zu unsicher, um als Durchschnittszahlen Wert haben zu können. Bei normalem Feuchtigkeitsgehalt sind nötig je Tag und Kopf:

	Stroh	Torfstreu
beim Pferd . . .	2—3 kg	3—5 kg
„ Rind . . .	4—5 „	5—6 „
„ Schwein . .	3—3,5 kg	0,5 —1,5 kg
„ Schaf . . .	0,15 kg	0,14—0,20 „

c) Menge und Zusammensetzung des Mistes

Für den erhaltenen Mist gilt im allgemeinen hinsichtlich seiner Beschaffenheit dasselbe, was vorher über die Exkremente gesagt worden ist; es erübrigt sich, dieses hier nochmals zu wiederholen. Die Menge

des frischen Mistes ist durch die Menge der Exkremente und der Einstreu gegeben. Die Menge der Exkremente wird, wie schon früher ausgeführt wurde, durch die Futtermenge und die Futterausnutzung, sowie das anteilige Verhältnis von Kot und Harn bestimmt. Daraus ergibt sich schon ohne weiteres eine solche Verschiedenheit, daß es schwer halten muß, einen nur einigermaßen sicheren Schluß auf die Zusammensetzung des frischen Mistes aus diesen Zahlen zu ziehen, denn allein schon die durch die Ausnutzung des Futters gegebene Menge der Exkremente beruht auf der Annahme von Durchschnittswerten, die zum Teil erheblichen Schwankungen unterliegen. Wenn man aber trotz dieser Unsicherheit die Menge des frischen Mistes berechnen will, so hat man die Trockensubstanz des unverdauten Anteils des Futters im Kot zu berechnen, dazu die mit 6 % angenommene Trockensubstanz des Harns zu addieren, diese Gesamtmenge von Kot und Harn auf wasserhaltige Exkremente umzurechnen und dazu die Menge an Einstreu zu zählen; die erhaltene Summe gibt die Menge des frischen Mistes an. Bei der Berechnung der Menge der wasserhaltigen Exkremente aus der Trockenmasse ist der nach den Tierarten verschiedene Feuchtigkeitsgehalt der Exkremente zu berücksichtigen; er beträgt beim Pferd 78 %, beim Rindvieh 88 %, beim Schwein 90 %, beim Schaf 67 %. Wenn die Tiere aber noch besondere Erzeugnisse liefern, wie Milch oder Fleisch, so sind die darin enthaltenen Stoffe noch besonders in Ansatz bezw. in Abzug zu bringen. Bei der Unsicherheit der durch diese Berechnung erhaltenen Zahlen unterlasse ich es, noch weiter darauf einzugehen. Ich beschränke mich im übrigen an dieser Stelle darauf, für die Menge und Zusammensetzung des Mistes der hauptsächlichsten Nutztiere die Zahlen nach E. Wolff anzugeben; ich komme später noch auf die Zusammensetzung des Mistes in besonderen Fällen zurück. E. Wolff hat für die Menge und die Zusammensetzung des unter Benutzung von Stroh zur Einstreu und

1. Menge:

	Pferd kg	Rindvieh kg	Schaf kg	Schwein kg
berechnet für Lebendgewicht . .	500	500	50	100
je Tag in kg	25,0	40,0	2,5	5,5
je Jahr in D-Ctr.	90,0	140,0	9,0	20,0

2. Zusammensetzung:

Mist vom:	Wasser %	Organische Substanz %	Stickstoff %	Kalk %	Kali %	Phosphorsäure %
Pferd	71,3	25,4	0,58	0,21	0,53	0,28
Rindvieh	77,5	20,3	0,34	0,31	0,40	0,16
Schaf	64,6	31,8	0,83	0,33	0,67	0,23
Schwein	72,4	25,0	0,45	0,08	0,60	0,19

bei normaler Fütterung erhaltenen Stallmistes folgende Durchschnittszahlen angegeben, die auch heute nicht wesentlich anders geworden sein dürften. Tabelle S. 39.

Diese Zahlen zeigen die Unterschiede in der Menge und in der Zusammensetzung der verschiedenen Mistsorten an. Im allgemeinen wird man nicht die einzelnen Mistsorten für sich verwenden; ihrer verschiedenen Zusammensetzung entspricht, wie auch die früheren Angaben über die Exkremente gezeigt haben, auch eine verschiedene Wirkung und müßte man letzterer auch durch eine verschiedene Anwendung Rechnung tragen. Das ist im praktischen Betriebe nicht durchführbar. Vielmehr wird der Mist von den einzelnen Tieren für gewöhnlich auf der Dungstätte vermengt und dadurch eine gleichmäßige Wirkung des Mistes sichergestellt. Ein solcher Mist enthält nach H. K. Müller:

Wasser	Organische Substanz	Stickstoff	Kalk	Kali	Phosphorsäure
75%	21,2%	0,39%	0,49%	0,45%	0,18%

Für den Wert des Mistes sind mehr noch als die ursprüngliche Beschaffenheit der Exkremente und der Einstreu die Umsetzungen entscheidend, welche dieses Gemisch von Einstreu und Exkrementen beim Lagern erleidet, weil dadurch erst das Gemisch die Beschaffenheit erhält, die wir in dem Mist als Dünger und Bodenkulturmittel schätzen, dabei aber auch Veränderungen unterworfen ist, die je nach dem Verlauf derselben die Menge herabdrücken, die Zusammensetzung verändern und damit den Wert des Mistes außerordentlich vermindern können.

d) Veränderungen des Stallmistes beim Aufbewahren

Die Veränderungen des Stalldüngers bei der Aufbewahrung werden neben gewissen chemischen Umsetzungen in der Hauptsache durch Kleinlebewesen herbeigeführt, die hauptsächlich durch den Kot, weniger mit der Einstreu in den Mist gelangen. Der Harn ist nahezu keimfrei. Die Zahl dieser Kleinlebewesen im Kot und in der Einstreu ist schwankend, aber in jedem Falle sehr groß. Gleiches gilt von dem Mist, in welchem die Zahl erst etwas zurückgeht, wenn die Luft mehr oder weniger von dem Innern des Stalldüngers abgeschlossen wird, so daß den Kleinlebewesen der Sauerstoff fehlt, den sie meistens zum Gedeihen und zu ihrer Arbeit nötig haben. Die Veränderungen und Umsetzungen betreffen im wesentlichen die organischen Stoffe und Stickstoffverbindungen. Zum Teil wünschen wir diese als Verrottung bezeichnete Zersetzung des Mistes, weil sie für eine günstige Wirkung des Mistes nötig ist und im Boden erfolgen müßte, wenn sie nicht bereits bis zu einem gewissen Grade auf der Dungstätte oder im Stalle vor sich gegangen ist. Löhnis sagt treffend in seinen „Vorlesungen über land-

wirtschaftliche Bakteriologie“ hierüber: „Der Zweck der Düngerrotte beruht also darin, daß erstens die organischen Verbindungen so weit — aber nicht weiter — zerlegt werden, als erforderlich ist, damit sie weder auf die Kulturgewächse, noch auf die Salpeterbildner schädlich einwirken, noch auch den Ammon und Nitrat assimilierenden Bodenorganismen eine geeignete Kohlenstoffquelle darbieten können. Und zweitens soll ein Teil des ursprünglich in organischer Bindung vorhandenen Stickstoffs so weit umgesetzt werden, daß nach dem Einbringen des Düngers in den Acker die Salpeterbildung sogleich einsetzen kann. Die Zersetzung der organischen Verbindungen soll also während der Lagerung des Düngers zwar eingeleitet werden, ihren Abschluß soll sie aber erst im Boden finden. Nur „rotten“ soll der Dünger, d. h. er soll (wie die Gespinstpflanzen bei der natürlichen oder künstlichen Rotte) infolge der Umsetzung von Zucker, Stärke und Pektinsubstanzen „mürbe“ gemacht werden.“ Die Bedeutung dieser Verrottung des Stalldüngers für seine Wirkung ist schon seit langer Zeit bekannt; wir wissen, daß, wenn frischer Mist auf den Acker gebracht wird, er diese Verrottung auf oder in dem Boden erst durchmachen muß, bevor er seine Wirkung ausüben kann, und daß deshalb frischer Mist längere Zeit vor der Aussaat ausgebracht werden muß. Die Verluste des Düngers beim Lagern, die man durch die Unterbringung des Düngers in dem Boden vermeiden möchte, können durch die nachteilige Wirkung des frischen Mistes mehr als aufgehoben werden, wenn dem frischen Mist keine Zeit zur Zersetzung im Boden verbleibt.

Die Zersetzung der organischen kohlenstoffhaltigen Stoffe verläuft naturgemäß je nach ihrer Art und Beschaffenheit sehr verschieden stark, in der kälteren Jahreszeit langsamer, in der wärmeren Jahreszeit schneller. Auch der Feuchtigkeitsgehalt des Mistes ist dabei bestimmend; je trockener der Dünger ist, desto größer sind die Verluste an organischer Substanz. Je mehr organische Stoffe bei der Verrottung des Mistes verloren gehen, desto mehr nimmt die Masse des Mistes ab. Schon E. Wolff und vor ihm Völcker haben dieses nachgewiesen, ein Ergebnis, das in späteren Untersuchungen immer wieder bestätigt worden ist. Es genügen hier die Ergebnisse, die Fr. Holdefleiß nach siebenmonatlicher Lagerung erhalten hat, zu wiederholen, die dahin gehen, daß, während die mineralischen Bestandteile, Phosphorsäure, Kali, Kalk, Magnesia nahezu unverändert geblieben waren, sich im übrigen während der Lagerung ein Verlust eingestellt hat und zwar bei der Düngermasse von 31,7%, bei der Trockensubstanz von 31,2% und bei Gesamtstickstoff von 23,4%. Dazu sagt Holdefleiß: „Diese Verluste an Düngermasse erstreckten sich nur auf die organische Substanz mit Einschluß der stickstoffhaltigen Bestandteile, werden also in der Praxis, wo noch die Verluste durch Abflüsse in der Regel hinzutreten und demgemäß

auch die mineralischen Stoffe wie Phosphorsäure, Kali usw. umfassen, noch erheblich größer sein.“ Löhnis rechnet bei dem Rottungsprozeß je nach der Beschaffenheit und der Zersetzung des Düngers mit einem Trockensubstanzverlust von 10—30% und bei zu trockener Lagerung des Stalldüngers sogar mit Verlusten bis zu 70%. Das sind natürlich Verluste, die eine starke Entwertung bedeuten, besonders, wenn dabei auch noch Stickstoff verloren geht. Die in dem Dünger vorhandenen Kohlenstoffverbindungen sind zum Teil leicht zersetzliche Stoffe, wie Zucker, Stärke usw., teils bestehen sie aus den weniger leicht löslichen Pektinstoffen und der schwer zersetzbaren Zellulosesubstanz. Nach den Angaben von Löhnis ist bei sorgfältiger Behandlung des Düngers mit folgender Abnahme dieser Stoffe in Prozenten der ursprünglich vorhandenen Menge zu rechnen:

bei:	Zucker usw.	Pektinstoffen	Zellulose
mit einer Abnahme von:	20—30%	15—20%	7—10%.

Diese Zahlen zeigen uns den Unterschied in dem Zerfall der verschiedenen organischen Stoffe, zugleich aber auch, daß die schließlich zurückbleibenden Stoffe in der Hauptsache der Gruppe der schwerlöslichen Zellulosesubstanzen angehören müssen.

Für das Wachstum und die Tätigkeit der Kleinlebewesen im Stalldünger ist der Zutritt der Luft wesentlich. Zwar wirken dabei auch luftscheue, anaërobe Bakterien mit, aber in der Hauptsache sind daran doch die aëroben Mikroorganismen beteiligt. Wenn auch zunächst für die Einleitung einer guten Verrottung die stärker zersetzende Wirkung der Bakterien erwünscht sein kann, also der Luftzutritt nicht schadet, sondern förderlich ist und herbeigeführt wird, so muß doch der Luftzutritt nachher bald gestört und unterbrochen werden, damit nicht die Zersetzung der organischen Substanzen zu weit geht und nicht mit der Zerstörung der organischen Kohlenstoffverbindungen die für die Bodenbeschaffenheit wichtigen und wirksamen humusbildenden Stoffe vernichtet werden. Auf die Bedeutung dieser letzteren für die Bodenkultur und die Düngung ist bereits früher aufmerksam gemacht worden; ich verweise hier nur noch einmal auf diese Ausführungen über die Bedeutung der bei der Zersetzung der organischen Substanzen entstehenden Kohlensäure, um zu beweisen, daß die richtige Leitung der Stallmistzersetzung die Wirksamkeit des Stalldüngers wesentlich mitbestimmt. Durch feste Lagerung und gute Durchfeuchtung des Düngers wird die Luft von dem Innern des Mistes abgehalten und damit die Wirkung der aëroben Bakterien auf die Zersetzung der organischen Kohlenstoffverbindungen zurückgedrängt. Durch die gebildete Kohlensäure und das gleichzeitig bei Luftabschluß entstehende Methan wird ebenfalls ein Luftabschluß erreicht; es werden damit die Lebensbedingungen für die aëroben Bak-

terien weiter verringert und wird der Zersetzung der organischen Stoffe Einhalt getan.

Beachtlich ist auch, daß, je lockerer der Mist lagert, je stärker also der Luftzutritt und damit die Zersetzung ist, die Erwärmung im Dünger zunimmt; man will bis 70° und mehr festgestellt haben. J. Hansen hat bei einer Außentemperatur von — 21° während der ersten Woche der Lagerung im festgelagerten Dünger eine Höchstwärme von 7°, in einem locker gelagerten Dünger aber eine solche von 67,5° ermittelt. Es bedarf keiner weiteren Ausführungen, daß durch zu starke Erwärmung des Mistes die leicht löslichen organischen Stoffe zerstört werden und muß Löhnis darin zugestimmt werden, daß der Stalldünger dadurch wertlos werden kann.

Alle diese Feststellungen zeigen uns, wie notwendig es zur Erhaltung der bodenverbessernden Wirkung und Dungkraft des Stalldüngers ist, die Zersetzung der organischen Kohlenstoffverbindungen durch rechtzeitigen Abschluß der Luft zum Stallmistinnern einzudämmen; sie geben uns zugleich den Weg an, der zur Erreichung der richtigen Verrottung des Mistes gegangen werden muß.

Zu diesen Umsetzungen der organischen Kohlenstoffverbindungen kommen nun weiter noch die Zersetzungen der Stickstoffverbindungen im Stalldünger. Beide Vorgänge stehen in engem Zusammenhang, was oft übersehen worden ist und zu einer falschen Auffassung darüber geführt hat. Die Kohlenstoffverbindungen liefern die Nahrung für die Kleinlebewesen, welche die Stickstoffverbindungen zersetzen und in flüchtige Verbindungen überführen; sie sind also mitbestimmend für den Grad dieser Zersetzungen, da die Arbeit der Bakterien um so stärker sein wird, je besser die Bakterien sich entwickeln. Hinsichtlich dieser im Stalldünger vorhandenen Stickstoffverbindungen müssen wir scharf zwischen ihrem Vorkommen im Kot und in der Einstreu einerseits und im Harn andrerseits unterscheiden. Im Kot und in der Einstreu haben wir den Stickstoff fast nur in schwerlöslichen, eiweißartigen Verbindungen, so daß nicht damit zu rechnen ist, daß dieser Stickstoff sehr bald in Verlust geraten wird. Anders ist es mit dem im Harn vorhandenen Stickstoff, der in der Hauptsache in der leichtlöslichen und umsetzungsfähigen Form des Harnstoffs, ferner als Hippursäure und in geringer Menge auch als Harnsäure vorhanden ist. Daraus ist zu erkennen, daß die Stärke der Zersetzung der Stickstoffverbindungen mit der Menge des vorhandenen Harns im Miste steigen und fallen wird, und da Harn und Kot sehr bald nach der Ausscheidung zusammenkommen, so muß man damit rechnen, daß mit der Ausscheidung der Exkremente auch bereits die Stickstoffverluste einsetzen. Dieses folgt auch aus Untersuchungen, welche in früheren Jahren von Müntz und Girard, Fittbogen, Holdefleiß, Pfeiffer, Immendorff u. a. m. ausgeführt sind, wobei diese Forscher

die Stickstoffmenge des Stallmistes, der Einstreu, des Futters und der Erzeugnisse wie Fleisch, Milch, Wolle usw. verglichen haben. Es unterliegt keinem Zweifel, daß diese Verluste je nach der Art der Behandlung, besonders auch nach dem Grade der Einwirkung von Luft und Wärme schon recht beträchtlich gewesen sein können, bevor der Mist auf die Dungstätte kommt. Wenn man dieses beachtet, wird man die von J. H. Vogel auf Grund der vorliegenden Versuche errechneten Verlustzahlen für den Düngerstickstoff nicht falsch einschätzen; diese Verlustzahlen sind je Jahr und Tier bei: Mastochsen 37,67 kg, Zugochsen 21,5 kg, Milchkühen 30,0 kg, Pferden 24,3 kg. Diese Zahlen können und sollen nur als Anhalt für die Größe dieser Verluste dienen.

Als Ursache dieser Verluste haben wir in erster Linie das Entweichen des gebildeten flüchtigen Ammoniaks anzusprechen. Besonders Immendorff hat sich sehr scharf für diese Auffassung eingesetzt und darauf hingewiesen, daß diese Verluste in kurzer Zeit sehr stark anwachsen können; er sagt zusammenfassend: „Die Hauptursache für die Verluste an gebundenem Stickstoff, die der Stallmist bei der gebräuchlichen Behandlung erleidet, haben wir in der Verflüchtigung von Ammoniak zu suchen. Die Bildung von elementarem Stickstoff ist nur in ganz untergeordnetem Maße bei der Hervorbringung dieser Verluste beteiligt. Mit dieser letzteren Ansicht setzt sich Immendorff in Gegensatz zu den Versuchsergebnissen, besonders von J. König, ferner von Morgen, Dietzel u. a. m. Th. Pfeiffer lehnt auch die auf Grund der von Immendorff gemachten Angaben leicht eintretende Überschätzung der Stickstoffverluste durch Ammoniakgärung ab, indem er auf den Einfluß der Herkunft und Beschaffenheit des Mistes auf die Zusammensetzung und den Verlauf der Zersetzungsvorgänge aufmerksam macht. Auf diese durch Entweichen von elementarem Stickstoff eintretenden Verluste werde ich sogleich noch näher zurückkommen.

Der Einfluß des Harns auf die Ammoniakbildung im Stalldünger ist nicht zu bezweifeln; er zeigt sich auch bei den Versuchen von J. H. Smith, in denen in 6 Wochen bei 20° Wärme von dem Gesamtstickstoff in Ammoniakstickstoff übergeführt waren: in einem Gemisch von festen Exkrementen + Stroh 2,0—2,8%, in einem Gemisch von festen Exkrementen + Stroh + Harn aber 28,4—30,0%. Diese Zahlen zeigen uns die langsame Umwandlung des eiweißartigen Stickstoffs in Kot und Einstreu in Ammoniak, dagegen die schnelle Ammoniakbildung aus den Amiden des Harns. Wie sehr die Umsetzungen der Stickstoffverbindungen im Stalldünger durch das Vorhandensein der leichtlöslichen Stickstoffverbindungen des Harns beeinflußt werden, zeigen Versuche von E. B. Vorhees und J. G. Lipmann mit harnhaltigem und harnfreiem Kot-Streugemisch. Nach den Mitteilungen von Löhnis dar-

über wurde in Versuchen, die zwei Jahre durchgeführt wurden, in Prozenten des Gesamtstickstoffs gefunden:

	Kot + Streu		Kot + Streu + Harn	
	frisch	verrottet	frisch	verrottet
Organischer Stickstoff				
davon unlöslich	85,0—86,2	76,8—83,2	45,1—51,6	62,4—67,1
„ löslich	6,1—7,4	7,9—10,1	15,8—17,2	8,2— 9,5
Ammoniakstickstoff	7,6—7,7	8,9—13,1	32,6—37,7	23,4—29,4

In diesen Untersuchungsergebnissen ist die Abnahme des Ammoniakstickstoffs in dem verrotteten Dünger gegenüber dem frischen Dünger in dem Kot-Streu-Harngemisch besonders interessant. In dem Kot-Streugemisch ohne Beigabe von Harn deuten diese Zahlen auf ein Ansteigen des Ammoniakstickstoffs hin. Dasselbe Verhältnis zeigen die Zahlen für den löslichen organischen Stickstoff. Dagegen hat der unlösliche organische Stickstoff in dem Kot-Streu-Harngemisch in dem verrotteten Dünger zugenommen, in dem Kot-Streugemisch abgenommen. Die Erklärung hierfür ist darin zu sehen, daß der Harnstickstoff von den Bakterien aufgenommen und in die unlösliche organische Bindungsform zurückgeführt worden ist, so daß die Pflanzen den Stickstoff nur nach und nach für ihre Ernährung verwenden können. Dieser Rückgang in der Ausnutzung des Stickstoffs ist früher oft nicht richtig erkannt worden und daraus auf einen Stickstoffverlust geschlossen worden, der aber in Wirklichkeit nicht vorgelegen hat. Dieser Vorgang ist aber, worauf auch Th. Pfeiffer, O. Lemmermann, W. Schneidewind, W. Krüger hinweisen, für die Beurteilung der Wirkung des Stallmiststickstoffs nicht unwesentlich, was auch hier besonders hervorgehoben werden muß.

Die Tätigkeit der Kleinlebewesen im Stalldünger wird auch in dieser Hinsicht durch den Luftabschluß vermindert, aber nicht ganz aufgehoben, jedoch dadurch der Wertverminderung des Harnstickstoffs in erheblichem Grade entgegengewirkt. Ob bei der gewöhnlichen Art der Düngeraufbewahrung durch den Luftabschluß entsprechend den Angaben von Löhnis damit gerechnet werden muß, daß 30 und mehr Prozent des Harnstoffs in eine unlösliche Form übergeführt werden, mag dahingestellt bleiben; ich glaube, daß die Verhältnisse zu verschieden sein werden, um hier auch nur ungefähr zutreffende Zahlen angeben zu können.

Auf das Entstehen von elementarem Stickstoff bei den Zersetzungsvorgängen im Stallmist habe ich schon hingewiesen. Es handelt sich dabei teils um die Folge bakterieller Einwirkungen auf den Stallmiststickstoff, teils um chemische Umsetzungsprozesse. Diese beiden Quellen

etwaiger Stickstoffverluste im Stalldünger sind schon lange bekannt. Bei dem ersteren Vorgange der bakteriellen Zersetzung des Stickstoffs im Stallmist zu freiem Stickstoff handelt es sich im wesentlichen um die Zersetzung des Salpetersäurestickstoffs, die sogenannte Denitrifikation. Voraussetzung für diesen Vorgang ist das Vorhandensein von Salpetersäure. In dieser Form ist der Stickstoff in dem Ausgangsmaterial des Stallmistes, in Kot, Harn und Einstreu nicht vorhanden, muß also erst gebildet werden. Diese Bildung der Salpetersäure, die Nitrifikation, ist eine Folge der Tätigkeit von Mikroorganismen, die in ihrem Gedeihen und Wirken an Sauerstoff, wie er durch die Luft zugeführt wird, gebunden sind. Unser Wissen auf diesem Gebiete ist besonders durch die Untersuchungen von Winogradsky und Omeliansky gefördert worden. Sie haben gezeigt, daß diese Bakterien in ihrer Wirksamkeit durch Ammoniakverbindungen und durch leicht lösliche organische Substanzen gestört werden können. Dazu bemerkt Löhnis, daß sich diese nachteilige Wirkung nur auf freies Ammoniak und auf größere Mengen löslicher organischer Substanzen bezieht, mit denen gewöhnlich im Stallmist nicht zu rechnen ist. Wenn eine Nitratbildung vorkommt, so kann sie nur da eintreten, wo Luft an den Dünger herankommt. Das gebildete Nitrat kann dann durch Versickern sich tieferen Schichten des Mistes mitteilen. Wir werden also mit einer Nitratbildung vor allem in den oberen, der Lufteinwirkung in erster Linie ausgesetzten Schichten des Düngers zu rechnen haben, sofern hier leicht zersetzliche Ammoniakverbindungen vorhanden sind. Andererseits wird aber die Tätigkeit der nitrifizierenden Bakterien durch die Austrocknung dieser Schichten wieder sehr beeinträchtigt. Die notwendigen Ammoniakverbindungen sind hier hauptsächlich da gegeben, wo dem Dünger Harn beigemischt ist, denn der Kot enthält diese Verbindungen wenig oder gar nicht und ist, wie schon hervorgehoben wurde, sein Stickstoff wenig zersetzungsfähig. Diese Feststellung deutet darauf hin, daß die Bildung von Nitrat im Stalldünger zurücktreten muß, wenn der Harn vom Stalldünger möglichst fern gehalten wird. Wir haben ferner erkannt, daß da, wo dieses nicht zu erreichen ist, was im praktischen Betriebe die Regel bilden dürfte, der Abschluß der Luft die Nitrifikation im Stalldünger verhindert. In dieser Vermeidung des Luftzutrittes zum Mist haben wir damit zugleich die Verhinderung der Denitrifikation und damit des Verlustes an freiem Stickstoff im Miste auf diesem Wege, weil die Voraussetzung hierfür, wie schon gesagt wurde, das Vorhandensein von Salpetersäure ist.

Je mehr also durch sachgemäße Lagerung des Mistes der Luftzutritt gehemmt wird, desto mehr wird auch dadurch die Bildung von Salpetersäure und damit eine Denitrifikation ausgeschlossen sein, aber möglich ist diese Nitratbildung und deshalb muß auch mit der Zerstörung

des Nitrates durch die denitrifizierenden Bakterien in größerem oder geringerem Grade gerechnet werden. Auf diese Denitrifikationsvorgänge, welche schon frühzeitig von A. Smith, Lawes, Gilbert und Warington, Gayon und Dupetit erkannt waren, nachher von Stutzer und Burri u. a. m. eingehender geprüft wurden, ist dann durch die Versuche von P. Wagner wieder besonders hingewiesen worden, bei denen durch die Einwirkung von frischem Pferdekot auf Nitrate der Salpeterstickstoff zu freiem Stickstoff reduziert wurde, so daß der Stickstoff entweichen konnte. Wagner findet, daß diese Denitrifikation mit dem Fortgang der Verrottung, also der Zerstörung der organischen Stoffe, abnimmt. Diese Feststellung bestätigt eine frühere Beobachtung von Déherain und Maquenne, wonach die Tätigkeit der denitrifizierenden Bakterien von dem Vorhandensein zersetzlicher organischer Stoffe abhängig ist, die den Bakterien als Nahrung dienen. Daraus folgt, daß der Denitrifikationsprozeß je nach der Art und Beschaffenheit des Stallmistes, die wieder durch die Art der Lagerung des Mistes bedingt sind, verschieden verlaufen muß. Auf diesen Einfluß der Beschaffenheit des Stallmistes auf die Denitrifikation hat besonders Th. Pfeiffer hingewiesen und dabei vor Überschätzung des Verlustes an Stickstoff auf diesem Wege gewarnt.

Außer durch Denitrifikation kann im Stallmist auch durch rein chemische Umsetzungsvorgänge freier Stickstoff entstehen oder aber es wirken beide Ursachen mit; in einem Material, wie es der Stallmist darstellt, muß man an sich schon damit rechnen, daß Umsetzungsprozesse darin nebeneinander herlaufen. Wenn z. B. Ammoniak und Nitrite vorhanden sind, was vorkommt, so können diese Verbindungen in Wechselwirkung treten und salpetrigsaures Ammoniak bilden, welches bei der Zersetzung freien Stickstoff gibt; gleiches kann bei der Einwirkung von salpetriger Säure auf Harnstoff eintreten. Die nachstehenden Gleichungen zeigen diese Umsetzungen:

$$NH_3 + HNO_2 = NH_4NO_2 = 2\,N + 2\,H_2O;$$
$$CO(NH_2)_2 + 2HNO_2 = 4\,N + CO_2 + 3\,H_2O.$$

Versuche von Lawes und Gilbert, Wille, J. König und Kiesow, Dietzel u. a. m. haben auf diese Ursache der Stickstoffverluste besonders hingewiesen.

Wenn wir diese Ausführungen über die Veränderungen des Stallmistes beim Lagern im ganzen nehmen, so können wir feststellen, daß Kot und Einstreu zwar nicht unwesentliche Mengen Stickstoff enthalten, daß dieser Stickstoff aber in schwer zersetzbarer Eiweißbindung vorhanden ist und nur von langsamer und geringer Wirkung sein kann, daß ferner besonders Kot, weniger die Einstreu große Mengen von Kleinlebewesen beherbergt, die zwar im Boden von günstiger Wirkung sein

können, aber auch die Zersetzung der Stickstoffverbindungen fördern und daher die im Stallmist vorhandenen leicht zersetzlichen Stickstoffverbindungen zerstören und dadurch Stickstoff in Verlust bringen können. Diese leichtzersetzlichen Stickstoffverbindungen enthält der Harn und ist deshalb die Möglichkeit größerer Stickstoffverluste gegeben, sobald und je mehr Harn im Stallmist dem Kot und der Einstreu beigemischt ist. Die zersetzende Wirkung der Bakterien wird durch Luftzutritt gefördert und tritt bei Luftabschluß zurück, weil die Lebenstätigkeit dieser Kleinlebewesen von der Zufuhr von Sauerstoff abhängig ist. Daher muß zur Verminderung des Stickstoffverlustes im Stalldünger vermieden werden: Beimischung des Harns zu Kot und Einstreu, also möglichst die getrennte Aufbewahrung von Kot und Harn angestrebt werden und weiter: der Luftzutritt, dabei gefördert werden jede Maßnahme, welche auf Luftabschluß hinwirkt, wie es durch die mäßige Durchfeuchtung des Düngers geschieht. Je mehr in beiden Richtungen bei der Aufbewahrung des Stalldüngers erreicht wird, desto besser ist es mit der Erhaltung der ursprünglichen Dungkraft des Düngers bestellt. In allen Fällen läßt sich die mäßig feuchte und feste Lagerung des Mistes erreichen und kann hierdurch den für die Erhaltung der Dungkraft des Stalldüngers unerwünschten Zersetzungen in erfolgreicher Weise entgegengewirkt werden. Weniger leicht ist die getrennte Gewinnung von Kot und Harn durchführbar, so daß dieses Verfahren nur in besonderen Fällen Anwendung finden dürfte.

e) Getrennte Aufbewahrung von Kot und Harn

Es ist Fr. v. Soxhlet gewesen, welcher die getrennte Gewinnung und Aufbewahrung von Kot und Harn zuerst mit aller Schärfe gefordert und versucht hat, Fachgenossen und Praktiker davon zu überzeugen, daß nur auf diesem Wege die wertvollen Stickstoffverbindungen des Harnes für die Pflanzenernährung erhalten bleiben können. Die früheren Ausführungen bestätigen die Richtigkeit dieser Auffassung, daß der Harnstickstoff bei der Vermischung von Harn mit Kot in stärkerem Grade in Verlust gebracht werden kann, als bei Trennung beider Exkremente. Um nicht mißverstanden zu werden, sei aber ausdrücklich hervorgehoben, daß der Stickstoffverlust durch unsachgemäße Aufbewahrung des Harns bezw. der Jauche und durch Mängel bei der Anwendung hierdurch nicht berührt wird, diese Verlustquellen vielmehr in beiden Fällen vorhanden sind und um so stärker fließen werden, je höher der Gehalt an leichtflüchtigen Stickstoffverbindungen ist.

Die praktische Durchführung der von Soxhlet geforderten getrennten Gewinnung von Harn und Kot hat manche Schwierigkeiten bereitet und auf sich warten lassen. Wenn sie zuerst in Mecklenburg versucht worden ist, so mag der Grund mit darin zu suchen sein, daß

R. Heinrich schon immer auf Grund seiner Versuche die Konservierung des Harns als die Hauptaufgabe der Stalldüngerbehandlung hingestellt hatte und damit von selbst auf die getrennte Aufbewahrung von Kot und Harn hingewiesen war. Rittergutsbesitzer Ortmann in Schependorf i. M. hat diese Trennung von Kot und Harn zuerst im praktischen Betriebe durchgeführt. In ihrer Arbeit „über die Konservierung und Düngewirkung des Jauchestickstoffes" sagen Honkamp und Blanck über dieses Verfahren: „Das Schependorfer Jaucheverfahren, wie es heute durchgeführt worden ist, basiert also auf einer sofortigen Trennung des entleerten Harns von Kot und Streu durch besonders hierzu geschaffene und geeignete Vorrichtungen, im Ablaufen der Jauche unter künstlichem Aufstauen und in einem schon in den Leitungen hierdurch ermöglichten unmittelbaren Luftabschluß. Letzterer kommt dann auch weiterhin für die großen Jauchebehälter in Anwendung und wird in seiner Wirkung je nach Bedarf durch Konservierungsmittel unterstützt. Neben einer Vermeidung von Stickstoffverlusten wird hierdurch übrigens auch eine wesentliche Verbesserung der Stallverhältnisse in hygienischer Beziehung erreicht." Auf die Wiedergabe der im Anschluß hieran folgenden Beschreibung der technischen Einrichtung der Anlagen muß verzichtet werden. Eine ähnliche Anlage ist von Wolff in Schweinsburg geschaffen und dasselbe Ziel verfolgt E. Berendt mit seiner etwas anders gearteten Einrichtung, deren Brauchbarkeit aber nicht unbestritten ist. Ich beschränke mich hier zunächst darauf, das Ergebnis der Jauche-Untersuchungen von Honkamp und Blanck anzuführen; es lautet: „Die zahlreichen Jaucheanalysen haben dann auch gezeigt und gelehrt, daß in der Tat durch das hier angegebene Verfahren der in der Jauche enthaltene Stickstoff erhalten bleibt. Die nach dem Ortmannschen Verfahren gewonnene Jauche wies einen Stickstoffgehalt auf, der je nach der Fütterung zwischen 7—11 ‰ schwankte, also ungefähr drei- bis fünfmal soviel Stickstoff enthielt als durchschnittlich gewöhnliche Jauche." Diese Feststellung zeigt, daß die Stickstoffverluste in der Jauche nicht auf bakterielle Vorgänge unmittelbar zurückzuführen sind; hierdurch wird zwar die Zersetzung des Harnstoffs und die Bildung der Ammoniakverbindungen herbeigeführt, jedoch entstehen die Verluste selbst durch die Verflüchtung der Ammoniakverbindungen oder durch Verdunstung, worauf später noch näher eingegangen werden soll.

Über die Anwendung und Wirkung dieser Jauche sei, weil es mit dem Vorhergehenden in Zusammenhang steht, an dieser Stelle nur gesagt, daß das Vorhandensein des in der Jauche gebildeten flüchtigen kohlensauren Ammoniaks beim Aufbringen auf den Acker ein baldiges Unterbringen der Jauche in den Boden nötig macht, da sonst mit einem erheblichen Verluste an Stickstoff durch Verflüchtigung gerechnet werden muß.

f) Aufbewahrung des Kot und Harn enthaltenden Stallmistes

Im wesentlichen haben wir es heute meistens mit einem Stallmist zu tun, der aus Einstreu, Kot und einem erheblichen Anteil des Harns besteht. Der Rest des Harns oder die Jauche, wie der Harn nach dem Abfließen aus dem Stalle, wobei er geringe Teile von Kot und Streu aufgenommen hat, genannt wird, fließt in die Jauchegrube. Wir haben daher zu prüfen, wie sich einmal dieser Stalldünger und weiter wie sich diese Jauche bei der Aufbewahrung verhält und wie beide am zweckdienlichsten behandelt werden.

α) Stallmist

Für die Umsetzungen und Zersetzungen in diesem Stallmist gilt dasselbe, was früher über das harnhaltige Kot-Strohgemisch ausgeführt worden ist. Es ist bei der Lagerung eines solchen Stallmistes mit einer Festlegung des leichtlöslichen Harnstickstoffs in schwerer löslichen organischen Bindungen und mit einer Verflüchtigung des Stickstoffs in Form von Ammoniak oder auch in Form von elementarem Stickstoff unter den früher näher dargelegten Verhältnissen zu rechnen, wenn die Luft nicht gut abgeschlossen wird. Es muß entsprechend den früheren Ausführungen bei der Aufbewahrung des Mistes eine besondere Aufgabe sein, einmal diese Verluste zu vermeiden, dann aber auch die Zersetzung der organischen Massen nicht vollständig zu verhindern, vielmehr den Abbau der organischen Kohlenstoffverbindnngen im Stalldünger nur so weit herbeizuführen, daß die weitere Zersetzung im Boden schnell erfolgen kann. Die Aufbewahrung des Düngers erfolgt heute auf der Dungstätte, im Tiefstall und nach dem von Krantz vorgeschlagenen Verfahren gewissermaßen im Silo. Bei allen diesen Verfahren kommt es uns in der Hauptsache auf die organischen und stickstoffhaltigen Stoffe an, da bei ihrer Zersetzung flüchtige Verbindungen oder Stoffe entstehen können. Die übrigen mineralischen Stoffe wie Phosphorsäure, Kalk, Kali, die aus den betreffenden Elementen in organischer Bindung in den Futtermitteln bei dem Verdauungsprozeß und durch die Aufbewahrung entstanden sind, können durch eine richtige Anlage der Aufbewahrungsstätten hier wie bei der Jauche vor Verlusten geschützt werden, so daß es sich erübrigt, hier näher darauf einzugehen.

Der im Flachstall gewonnene Stallmist wird täglich auf die Dungstätte gebracht. Wenn diese Dungstätte sachgemäß, d. h. so angelegt ist, daß sie auf der Sohle und an der Seite dicht und vor Sonne und Regen geschützt ist, so kann bei gleichmäßiger Ausbreitung und bei fester Lagerung ein Dünger erhalten werden, in dem der Abbau der organischen Stoffe bis zur mäßigen Verrottung erreicht wird und der Stickstoff zu einem erheblichen Teile erhalten bleibt. Über die Zusammensetzung

eines solchen Düngers liegen neue Untersuchungen von Schiller vor, die vor allem auch den Zweck verfolgen, nachzuprüfen, ob die Zusammensetzung des Stallmistes infolge der veränderten Fütterung in der Kriegszeit eine andere geworden ist. Ich konnte aus unserem engeren Bezirk eine größere Anzahl Stallmistproben aus verschiedenen größeren und kleineren Wirtschaften untersuchen und schließlich stehen mir die Untersuchungsergebnisse von Stalldünger aus einer Wirtschaft zur Verfügung, in der gehäckseltes Einstreustroh verwendet, die Jauche auf den Boden der Dungstätte geleitet und von der Einstreu aufgesaugt wurde. In dem letzteren Falle ist für ein gleichmäßiges Ausbreiten und ständiges Festtreten des Mistes Sorge getragen, und wurde der Mist in einem überdachten, geschlossenen Raume aufbewahrt. Die Ergebnisse auf 25% Trockensubstanz berechnet sind folgende gewesen:

	Stickstoff %	Phosphorsäure %	Kali %
Untersuchungen von B. Schulze	0,507	0,234	0,632
„ der Versuchsstation Breslau	0,446	0,248	0,673
„ von Schiller	0,443	0,193	0,598
„ der Versuchsanstalt Harleshausen	0,557	0,295	0,642
Angaben von M. Hoffmann	0,540	0,250	0,700

Wenn man die von Hoffmann angegebenen Zahlen als für die Kriegszeit geltend ansehen will, so kann man aus einem Vergleich damit auf eine Nährstoffabnahme in den von Schiller untersuchten Stallmistproben schließen; gleiches gilt hinsichtlich des Stickstoffgehaltes der von der Versuchsstation in Breslau untersuchten Proben. Dagegen lassen unsere Untersuchungen eine Verminderung des Nährstoffgehaltes nicht erkennen. Gerade hinsichtlich der sehr umstrittenen Abnahme des Phosphorsäuregehaltes im Stallmiste in der Nachkriegszeit ergeben die Untersuchungen der Versuchsanstalten in Breslau und hier gegenüber den Durchschnittszahlen Hoffmanns eine solche nicht. Die Untersuchungsergebnisse schwanken gerade für die Zusammensetzung des Stallmistes sehr, so daß es schwierig sein wird, durch die chemische Untersuchung eine sichere Vergleichsgrundlage für die Veränderung der Zusammensetzung des Stallmistes zu erhalten; jedenfalls muß dabei mit geringen Abweichungen gerechnet werden, die unbeachtet bleiben müssen, die aber wahrscheinlich eher in der Behandlung und Aufbewahrung des Stalldüngers als in der veränderten Fütterung begründet sind. Zum Vergleiche der unterschiedlichen Zusammensetzung von Stallmist können auch noch die folgenden neueren Untersuchungen unserer Versuchsanstalt dienen; die Zahlen sind wieder auf 25% Trockensubstanz berechnet:

	Einstreu: gehäckseltes Stroh		Einstreu: Langstroh
	Frisch %	Längere Zeit gelagert und festgetreten aus bedachter Dungstätte %	sogen. Hofmist aus unbedachter Dungstätte %
Organische Stoffe	22,06	21,65	21,49
Mineralstoffe	2,94	3,15	3,51
Gesamt-Stickstoff	0,684	0,600	0,519
davon in organischer Form	0,570	0,545	0,477
„ als Ammoniak	0,114	0,055	0,042
Phosphorsäure	0,243	0,214	0,226
Kali	0,414	0,478	0,524
Kalk	0,333	0,374	0,324
Magnesia	0,134	0,166	0,154

Der in der letzten Reihe aufgeführte Stalldünger stammt aus einer Wirtschaft, deren Stalldünger in dem letzten Jahrzehnt hier wiederholt untersucht worden ist; die jetzigen Untersuchungen ergeben niedrigere Zahlen für Stickstoff, Phosphorsäure und Kali, als früher vor und nach dem Kriege ermittelt worden sind; sie zeigen, daß geringe Schwankungen in der Zusammensetzung des Stalldüngers immer gegeben sind. Im übrigen erkennen wir aus den obigen Zahlen, daß der auf der offenen Dungstätte erhaltene Hofmist im Stickstoffgehalt zwar etwas zurückbleibt, aber sonst dem Mist, der mit gehäckseltem Stroh als Einstreu und Einleiten der Jauche auf geschlossener Dungsstätte erhalten wurde, ähnlich zusammengesetzt ist. Bei dem Vergleich des frischen und des längere Zeit festgelagerten Stallmistes fällt der Unterschied im Ammoniakstickstoff auf; der höhere Gehalt an Stickstoff in Form von Ammoniak in dem frischen Dünger bestätigt die schon früher gemachte Angabe, daß der frische Mist reich an Ammoniak ist, das verloren gehen, aber auch in eine organische Bindungsform übergehen kann. Die mitgeteilten Gehaltszahlen zeigen uns, wie sehr durch die feste Lagerung des Stalldüngers der Nährstoffgehalt des Mistes gesichert werden kann.

Dafür sprechen auch die Erfahrungen im Tiefstall; die obige Aufbewahrung in dem geschlossenen Düngerraum, in dem der Dünger durch Rindvieh festgetreten wurde, kommt der Behandlung und Aufbewahrung des Düngers im Tiefstall nahe. Untersuchungen von Tiefstalldünger haben bei 25% Trockensubstanz ergeben:

Analytiker	Stickstoff %	Phosphorsäure %	Kali %
Holdefleiß	0,544	0,266	0,670
Schneidewind	0,637	0,377	0,603
Schiller	0,550	0,200	0,654
Hoffmann.	0,700	0,400	0,800

Der Unterschied im Nährstoffgehalt der Tiefstalldünger tritt in diesen Zahlen deutlich hervor; sowohl im Stickstoffgehalt, wie auch im Gehalt an Kali und Phosphorsäure sind die Abweichungen recht erheblich, woraus sich von selbst die Unsicherheit eines Vergleiches von Stallmistproben zeigt, welche nicht aus derselben Wirtschaft stammen. Um ein Bild von der Zusammensetzung des Mistes nach verschiedener Aufbewahrung zu geben, führe ich Untersuchungsergebnisse an, welche M. Märcker aus Versuchen der Versuchswirtschaft Lauchstädt mitteilt, bei denen der Dünger von Tieren mit gleicher Fütterung verwendet worden ist. Der Dünger hatte während der Versuchsdauer von 136 Tagen teils im Tiefstall unter den Tieren gelegen, teils war er alle zwei Tage auf die Dungstätte gebracht worden. Die Einstreu war im Tiefstall genau so bemessen, wie im Flachstall und zwar so, daß aus dem Flachstall keine Jauche abfloß. Aus dem Tiefstall wurde keine Jauche erhalten; aus der überdachten Dungstätte wurden 18,4 dz Jauche, aus der offenen Dungstätte 62,0 dz Jauche in der Jauchegrube gesammelt. Die Untersuchung der drei Dünger hat ergeben:

	Tiefstall	Dungstätte	
		überdacht	offen
Gewicht des Düngers	524,58 dz	483,84 dz	527,28 dz
Trockensubstanz des Düngers	146,88 dz	146,15 dz	116,00 dz
Gesamt-Stickstoff	0,777 %	0,608 %	0,554 %
davon als Eiweiß	65,9 %	69,9 %	77,9 %
„ „ Amid	9,0 „	9,2 „	7,7 „
„ „ Ammoniak	23,9 „	17,3 „	10,1 „
„ „ Salpetersäure	1,9—3,49 „	3,6 „	4,3 „
Phosphorsäure	0,412 %	0,456 %	0,385 %
Kali	0,820 „	0,890 „	0,680 „

Wenn wir den nicht in Eiweißbindung vorhandenen Stickstoff als schnell wirksamen Stickstoff ansehen, so sind in dem Dünger im Tiefstall 34,6 %, in der überdachten Dungstätte 30,1 %, in der offenen Dungstätte 22,1 % des vorhandenen Stickstoffs in dieser schnell wirksamen Form vorhanden gewesen; das sind Zahlen, die mit den Erfahrungen über die Nährwirkung dieser Dünger übereinstimmen. Auch in der Gesamtmenge an Stickstoff steht der Tiefstalldünger obenan, während hierbei der Unterschied zwischen dem Dünger auf der überdachten und der offenen Düngerstätte wesentlich zurücktritt. Der Verlust an Gesamtstickstoff hat im Tiefstall 13,2 %, auf der überdachten Dungstätte 36,9 % und auf der offenen Dungstätte 37,4 % des Gesamtstickstoffs betragen. Märcker sieht den Grund dafür, daß auf der überdachten und offenen Dungstätte die Stickstoffverluste nahezu gleich sind, einmal darin, daß in beiden Fällen die Dünger bereits Verluste gleicher Art und Menge im

Stall erlitten haben, sodann der Dünger in der überdachten Dungstätte trockener war, das vorhandene Ammoniak bezw. kohlensaure Ammoniak also in konzentrierterer Form vorhanden war und daher leichter verdunstete als aus der verdünnten Lösung des wasserreicheren Düngers von der offenen Dungstätte. Trotz dieser naheliegenden Gründe muß es überraschen, daß die Verluste nahezu dieselben gewesen sind, und führt diese Feststellung leicht zu der Annahme, daß die hauptsächlichsten Verluste in der Zeit der Lagerung im Stalle eingetreten sind, worauf früher schon hingewiesen wurde. Ebenso ist bereits die Ursache der Verluste bei der Besprechung der Versuche mit dem Kot-Harn-Einstreugemisch, um welches es sich hier schließlich auch handelt, erörtert worden, so daß es sich erübrigt, hierauf noch besonders einzugehen.

Eine besondere Art der Stalldüngeraufbewahrung ist das Verfahren von H. Krantz, das als Heißvergärungsverfahren oder auch als Edelmistverfahren bezeichnet wird; erstere Bezeichnung deutet die Art und Wirkung des Verfahrens an, während die letztere Bezeichnung die Beschaffenheit des erhaltenen Erzeugnisses anzeigt. O. Kron beschreibt dieses Verfahren wie folgt: „Der Stallmist wird auf der Düngerstätte in möglichst lockerer Schichtung von begrenzter Höhe sorgfältig gelagert, wodurch die Selbsterwärmung des Stallmistes schneller eintritt und höhere Grade erreicht, die Vergärung also lebhafter fortschreitet als bei der bisherigen landläufigen Düngerbehandlung. Nach Erreichen einer gewissen Gärstufe, welche sich unter anderem durch die Temperaturhöhe kenntlich macht, wird der Mist gepreßt, wodurch die im Mist enthaltene Luft verdrängt wird; damit wird die Vergärung abgebremst. Nach der Pressung bleibt der so behandelte Mist unter Druck; dies wird z. B. dadurch erzielt, daß auf den gepreßten Mist frisches Material aufgebracht wird, das durch sein Eigengewicht den nötigen Druck ausübt und gleichzeitig das Entweichen der Wärme aus der gepreßten Schicht hemmt. Hat das Material in der zweiten Höhenstufe ebenfalls die Vergärung durchgemacht, so wird es gepreßt und bildet die Unterlage für das Material in der dritten Höhenstufe usw. Auf diese Weise baut sich in verhältnismäßig kurzer Zeit ein Miststapel von beträchlicher Höhe auf. Der starke Pressungsdruck beim Krantzschen Verfahren hat zur Folge, daß auch diejenigen Stroh- und sonstigen organischen Bestandteile, welche die Hauptgärung des Mistes mehr oder weniger unverändert überstanden haben, physikalisch angegriffen, sozusagen zermürbt werden, wodurch umsomehr auch sie chemischen und biologischen Einflüssen zugänglich werden. Diese Wirkung verstärkt sich noch dadurch, daß die im Innern des Miststapels vorhandene Wärme wegen der verhältnismäßig geringen Oberfläche des Stapels nur langsam an die Umgebung abgegeben wird.“ Um die bei der Vergärung des Stalldüngers im Acker entstehenden Verluste herabzudrücken, hat H. Krantz

versucht, durch dieses Verfahren die Verrottung des Stalldüngers vorher auf der Düngerstätte zu regeln und damit Verluste durch die Stallmistzersetzung hintanzuhalten. Nach den Angaben von Kron soll hierdurch der Gärvorgang so beeinflußt werden, daß „a) der Abbau der schwerlöslichen Eiweißstickstoffverbindungen beschleunigt wird, b) die Erreger der Stickstoffentbindung rasch getötet werden und c) nach Erreichung dieser beiden Wirkungen die Gärung energisch gehemmt wird und das Gärgut binnen kurzer Zeit in eine haltbare Masse übergeht, die nicht mehr schwindet, aber auf bezw. in dem gedüngten Acker den Bodenbakterien eine leicht aufnehmbare Nahrung bietet, d) mithin auch die seither auf dem Acker „wild", d. h. ungeregelt erfolgende Vergärung auf die Düngerstätte verlegt planmäßig geregelt wird, so daß den besonders bedeutungsvollen Verlusten auf dem Acker in wirkungsvoller Weise entgegengetreten wird."

Die weiter gemachten Erfahrungen haben es als zweckmäßig erscheinen lassen, den Mist nicht frei aufzustapeln, sondern in einem Silo zu lagern, der mit Rücksicht auf die in dem Mist zuerst sich abspielenden Gärungsvorgänge als Gärstall bezeichnet wird. Auf die technischen Einzelheiten der Einrichtung braucht hier nicht näher eingegangen zu werden. Nur darauf sei hingewiesen, daß aus dem aufgestapelten Dünger Sickerwasser tritt, das etwa 15% des eingebrachten Stallmistes ausmacht; es hat die Zusammensetzung guter Mistjauche und muß in einer Grube aufbewahrt werden. Es sei auch bemerkt, daß Krantz sein Verfahren benutzt, um Gründüngungspflanzen jeder Art, einschließlich der in der Wirtschaft abfallenden Strauch- und Blättermengen mancher Hackfrüchte in einen „Grünmist" umzuwandeln, um so den in diesen Grünmassen enthaltenen Stickstoff seiner Wirtschaft zu erhalten. Durch diese Behandlung der Gründüngungspflanzen soll den beim Unterbringen der grünen Massen im Boden unvermeidlichen Nährstoffverlusten vorgebeugt werden und so dadurch eine bessere Düngewirkung erzielt werden als durch die heute übliche Gründüngung.

Bornemann teilt die Zusammensetzung einiger Proben der nach diesem Gärverfahren erhaltenen Mistsorten mit; von den nachstehend aufgeführten Proben waren I und II Kurzstrohmist mit Torfstreu und zwar Probe I gleichvergoren, schimmelfrei und annähernd geruchlos, Probe II verhältnismäßig wenig vergoren, im Geruch und Aussehen wie Hofmist bei Torfeinstreu. Die Probe III war Grünmist, in dem die Struktur der Pflanzen noch erhalten war; der Geruch war wie bei gut konserviertem Sauerfutter. Die Probe IV war Langstrohmist aus einer anderen Wirtschaft, ziemlich naß, im Geruch und Aussehen gewöhnlichem Hofmist gleich. Tabelle S. 56.

Daß gewöhnlicher Hofmist auch eine bessere Zusammensetzung haben kann, als diese Zahlen anzeigen, beweisen die früheren Mitteilungen

Die Zusammensetzung war folgende:

	I %	II %	III %	IV %
Wasser	74,76	75,09	66,14	77,43
Organische Substanz	18,30	19,31	25,76	17,60
davon wasserlöslich	1,20	1,40	5,10	1,30
Gesamt-Stickstoff	0,717	0,533	1,280	0,333
Ammon.-Stickstoff	0,410	0,154	0,256	0,154
Verdaulicher „	0,200	0,238	0,622	0,160
Asche	6,94	5,60	8,10	5,07
darin Phosphorsäure	0,383	0,191	0,096	0,112
Kali	0,850	1,313	1,583	1,158
Kalk	0,700	0,600	1,000	0,300

hierüber; dieses Beispiel zeigt wieder die bereits hervorgehobene Unsicherheit solcher Vergleiche und muß davon abhalten, auf Grund solcher Untersuchungsergebnisse allein solche Verfahren zu beurteilen.

Wenn wir von dem sogenannten Grünmist absehen, dessen Gewinnung aus den grünen Abfällen in der Wirtschaft besonders beachtenswert sein dürfte, und hier nur den eigentlichen Stallmist berücksichtigen, so müssen wir sagen, daß der bei dem sogenannten Heißgärverfahren von Krantz erhaltene Mist eine recht günstige Zusammensetzung zeigt, die derjenigen des Tiefstalldüngers nahekommt. Die Erfahrungen, die bisher mit diesem Verfahren gemacht worden sind, lauten nicht ungünstig; sie lassen eine weitere und ausgedehntere Prüfung wünschenswert erscheinen. Dabei muß der Feststellung der Wirtschaftlichkeit des Verfahrens besondere Beachtung geschenkt werden.

β) Jauche

Es ist bereits die nach dem Vorschlage von Fr. v. Soxhlet durchgeführte Trennung von Kot und Harn erörtert worden. Der Harn oder, wie dieser nach Beginn der Gärung bezw. Vermischung mit Kotbestandteilen bezeichnet wird, die Jauche wird in besondere Gruben geleitet und dort aufbewahrt. Es ist für die Anlage solcher Jauchegruben unerläßlich, daß sie nach unten und nach den Seiten undurchlässig und luftdicht verschließbar sind, damit sowohl ein Versickern der Flüssigkeit wie auch ein Verdunsten derselben oder eine Verflüchtigung etwa entstehender gasförmiger Verbindungen ausgeschlossen ist. In der Jauche haben wir, abgesehen von den mineralischen Bestandteilen Kalk, Kali, Phosphorsäure, die bei richtiger Anlage der Jauchegrube nicht verlorengehen können, im wesentlichen Ammoniak bezw. kohlensaures Ammoniak. Im Mittel von 14 Untersuchungen enthielt die Jauche von Milchvieh: 0,348 % Gesamtstickstoff, davon 0,299 % in Form von Ammoniak, 0,021 % Phosphorsäure und 0,753 % Kali. Die Jauche der verschiedenen

Tierarten ist nicht gleich zusammengesetzt. Darauf weisen bereits die Zahlen hin, welche früher über die Zusammensetzung des Harns der Tiere, des Ausgangsmaterials für die Jauchebildung, angegeben wurden. In einem Jauchegemisch von verschiedenen Tierarten, wie es in den praktischen Betrieben in der Regel vorliegen dürfte, wurde gefunden: 0,170 % Gesamtstickstoff, davon 0,159 % in Form von Ammoniak, 0,011 % Phosphorsäure, 0,622 % Kali. Mistjauche, die eine Verdünnung erfahren hatte, enthielt: 0,144 % Gesamtstickstoff, davon 0,080 % in Form von Ammoniak, 0,0116 % Phosphorsäure, 0,521 % Kali, 0,034 % Kalk und 0,046 % Magnesia.

Der Gehalt an Phosphorsäure ist darnach so gering, daß er bei der Bewertung der Düngewirkung der Jauche kaum ins Gewicht fällt und deshalb bei reichlicher Anwendung der Jauche die Beidüngung mit phosphorsäurehaltigen Düngemitteln immer besondere Beachtung verdient. Dagegen ist der Kaligehalt der Jauche so erheblich, daß er bei der Zumessung der Beidünger zur Jauche in Rechnung gestellt werden muß.

Der Stickstoffgehalt der Jauche wird sich ändern, je nachdem die Jauche länger in dem Mist bleibt oder bald zum Abfluß gelangt; je länger sich der Abfluß verzögert, desto mehr wird der Stickstoffgehalt zurückgehen. Untersuchungen haben gezeigt, daß 85,9 % des gesamten Stickstoffs in Form von Ammoniak vorhanden sind, sodaß Verluste an Stickstoff bei unzureichendem Luftabschluß bei der Flüchtigkeit des Stickstoffs in dieser Form nicht überraschen können. Da frischer Harn keinen Stickstoff in der flüchtigen Ammoniakform enthält, so sind in ihm solche Verluste nicht beobachtet worden, vielmehr stellen sie sich erst in der Jauche ein, in welcher der Harnstickstoff sich in die Ammoniakform umgewandelt vorfindet. K. v. Krause hat durch seine Untersuchungen festgestellt, daß die Stickstoffverluste in der Jauche um so größer sind, je konzentrierter die Jauche ist; er fand in 55 tägiger Versuchsdauer folgende Stickstoffverluste in Prozenten des Gesamtstickstoffs:

1 Liter Harn ohne Zusatz	72,56 %
1 Liter Harn + 250 ccm Wasser . .	56,91 %
1 Liter Harn + 500 ccm Wasser . .	25,34 %

Versuchsergebnisse von A. Pickarski liegen in derselben Richtung.

So nahe es bei der leichten Verflüchtigung des Ammoniaks liegt, als die Ursache des Stickstoffverlustes in der Jauche eine Verflüchtigung des Stickstoffs anzunehmen, so scheint diese Erklärung doch nicht ganz stichhaltig zu sein. A. Pickarski hat gefunden, daß frischer oder selbst in Gärung befindlicher, also ammoniakhaltiger Kuhharn, der vor dem Zutritt von Luft geschützt wird, keine Stickstoffverluste erleidet, daß also die Verhinderung der Verdunstung der Jaucheflüssigkeit auch

Stickstoffverluste in der Jauche ausschließt. Er bestätigte damit die Beobachtung von J. Vogel, wonach die Ammoniakverflüchtigung mit der Wasserverdunstung der betreffenden Flüssigkeit zusammenhängt. Auch E. Blanck schließt aus seinen Versuchen, daß ein Verlust an Stickstoff in der Jauche nicht stattfindet, selbst dann nicht, wenn der Stickstoff in der leicht flüchtigen Bindung des kohlensauren Ammoniaks vorhanden ist, wenn eine Verdunstung der Flüssigkeit vermieden wird. O. Lemmermann hat Einwände dagegen erhoben, daß der Grund für die Ammoniakverflüchtigung allein in der Wasserverdunstung zu suchen sei, und festgestellt, daß bei stärkerer Luftdurchführung mit der Zunahme der Ammoniakverluste auch mehr Kohlendioxyd verloren ging. Dem hier bereits vermuteten Zusammenhang zwischen Stickstoffverlust und Verlust an Kohlendioxyd in der Jauche wird von O. Nolte in seinen Versuchen und theoretischen Erwägungen weiter nachgegangen. Er findet, daß zwischen Ammoniakverlust und Wasserverdunstung keine Beziehungen bestehen, daß aber das Verhältnis zwischen Ammoniak und Kohlendioxyd ein ziemlich konstantes ist, und kommt zu dem Schluß, daß die Ammoniakverdunstung nicht auf die Wasserverdunstung, sondern auf die Verflüchtigung von Kohlendioxyd zurückzuführen ist. Aus diesen Zusammenhängen und Versuchen anderer folgert O. Nolte, daß auch bei der Erhaltung des Stickstoffs im Stallmist Kohlendioxyd günstig einwirken kann; darauf soll später noch eingegangen werden. Es kann nicht geleugnet werden, daß die Schlußfolgerungen Noltes vieles für sich haben und bei den Stickstoffverlusten der Jauche die Wasserverdunstung als Ursache hierfür gegenüber der Verflüchtigung des Kohlendioxydes zurücktritt; ein abschließendes Urteil darüber wird erst auf Grund weiterer Versuche möglich sein.

Nach diesen Darlegungen genügt es, darauf hinzuweisen, daß das Anfeuchten des Stallmistes durch Überbrausen des Stallmistes mit Jauche die Stickstoffverluste der Jauche vermehren wird; an Stelle der Jauche kann Wasser verwendet werden, ohne daß dadurch die Verrottung des Stalldüngers beeinträchtigt wird.

γ) Das Gülleverfahren

Im Anschluß hieran sei noch kurz ein besonderes Verfahren der Aufbewahrung von Kot und Jauche erwähnt, welches aber mehr örtliche Bedeutung hat und in seiner wirtschaftlichen Ausnutzung auch von der örtlichen Geländegestaltung abhängig ist; es ist das besonders im Allgäu übliche Gülleverfahren. Es besteht darin, daß, bei sparsamster Nutzung von Einstreu, Kot und Harn bald nach der Ausscheidung mit geringer Beimengung von Einstreu in einer unter der Stallung liegenden Grube gesammelt, mit Wasser verdünnt und dann der Gärung überlassen werden. Das bei der Gärung entstehende Kohlendioxyd wird ent-

sprechend den früheren Ausführungen der Verdunstung des entstandenen Ammoniaks und damit Stickstoffverlusten bei der Aufbewahrung der Gülle entgegenwirken. Da aber die Gülle hauptsächlich auf Wiesen und Weiden verwendet wird, so daß ein sofortiges Ein- und Unterbringen in den Boden ausgeschlossen ist, muß mit Stickstoffverlusten bei der Anwendung der Gülle gerechnet werden. Die Zusammensetzung der Gülle ist je nach der zugesetzten Wassermenge verschieden, vor allem im Sommer weniger konzentriert, weil dann nach dem ersten Schnitt ein stärkerer Bedarf daran vorhanden ist. In 1 Liter Gülle sind 2 g Stickstoff, 4—5 g Kali und 0,2—0,6 g Phosphorsäure vorhanden. In gewisser Hinsicht ähnelt die Gülle der sogenannten Latrine, welche aus den menschlichen Ausscheidungen erhalten wird. Was für die Anwendung der Latrine als Düngemittel gilt, ist auch von der Gülle zu sagen und kann darüber später im Zusammenhang berichtet werden.

g) Die Konservierung von Stallmist und Jauche

α) Stallmist

Die Verluste, welche im Stallmist bei der Lagerung entstehen können, sind einmal die Verminderung der Masse durch die Verrottung des Düngers und weiter der Stickstoffverlust. Die etwa möglichen Verluste an Phosphorsäure, Kali, Kalk und sonstigen mineralischen Stoffen, die in der Düngerflüssigkeit gelöst werden können, sollen unberücksichtigt bleiben, vielmehr soll vorausgesetzt werden, daß die Aufbewahrungsstätten nach allen Seiten dicht sind, so daß Verluste an diesen Stoffen durch Versickern oder Abfließen nicht eintreten können.

Die Verluste durch Zersetzung der organischen Massen müssen in begrenztem Umfange immer hingenommen werden, weil sie durch die für eine günstige Wirkung des Stallmistes nötige Verrottung gegeben sind und ohne diese Verrottung die erwünschte Beschaffenheit des Stallmistes nicht erreicht werden kann. Verluste von 15—20% dieser organischen Bestandteile werden selbst bei sorgfältiger Behandlung des Mistes die Regel sein; ist aber diese Sorgfalt bei der Aufbewahrung des Mistes geringer, z. B. die Lagerung lockerer, so daß die Luft stärker zutreten kann, so können die Verluste auch das Doppelte und mehr betragen und mit diesen und noch größeren Verlusten ist zu rechnen, wenn der Dünger zu trocken lagert. Die Ursache dieser Zersetzung des Düngers sind Kleinlebewesen, die ihre zerstörende Tätigkeit nur bei ausreichender Sauerstoffnahrung, also bei Luftzutritt ausüben können, wie dieses bereits früher dargelegt worden ist. Danach kann diese zu weit gehende Zerstörungsarbeit der Bakterien durch mäßig feuchte und feste Lagerung des Stalldüngers auf die notwendige mäßige Verrottung des Düngers beschränkt werden, weil durch diese Art der Lagerung des Düngers der ungehinderte Luftzutritt gehemmt wird.

Dabei wird auch zugleich den Verlusten an Stickstoff im Stalldünger entgegengearbeitet. Wir müssen dabei beachten, daß wir es in den meisten Fällen mit einem Mist zu tun haben, der mehr oder weniger Harn und damit dessen leicht zersetzliche Stickstoffverbindungen enthält. Wie auch hierüber bereits früher gesagt wurde, sind die Verluste hieran um so größer, je mehr die Luft zutritt. Daraus folgt von selbst, daß durch die mechanische Behandlung des Düngers auch ein Verlust des aus dem Harnstickstoff entstehenden Ammoniaks verhindert wird. Berücksichtigt man hierbei die früheren Ausführungen über den Einfluß der Kohlensäure auf die Erhaltung des Stickstoffs in der Jauche, wie er zuerst von Nolte besonders hervorgehoben wurde, so kann der Einfluß der richtigen mechanischen Pflege, d. h. der mäßig feuchten und festen Lagerung des Stalldüngers auf die Erhaltung seines Stickstoffs dadurch erklärt werden, daß, wie Nolte sagt, „hierdurch einerseits die Oxydation der Kohlenstoffverbindungen zum Kohlendioxyd verringert und andererseits durch die feste Lagerung besonders der Gasaustausch und damit auch die Ammoniakverdunstung wesentlich verkleinert wird. Darum bietet auch die Aufbewahrung des Düngers im Tiefstall mit seiner kohlendioxydreichen Luft eine gewisse Gewähr für eine bessere Stickstofferhaltung als im Flachstall, wobei allerdings für die praktischen Verhältnisse die hygienischen Nachteile des Tiefstalles nicht unberücksichtigt bleiben dürfen.“ Auf die günstige Wirkung der Kohlensäure auf die Erhaltung des Stickstoffes im Stallmist hat zuerst Déhérain aufmerksam gemacht; er empfiehlt beim Ausfahren des Mistes etwas gut zersetzten Mist zurückzubehalten, so daß darauf gelagerter frischer Mist bald in Gärung gerät; dadurch wird Kohlensäure gebildet, welche durch die Verhinderung der Zersetzung des kohlensauren Ammoniaks auf die Stickstofferhaltung im Stallmist günstig wirkt. Dieses Verfahren ist später von M. Schneidewind in Lauchstädt geprüft worden und wurde der Erfolg bestätigt, indem der Verlust an Stickstoff bei gewöhnlicher Behandlung des Stalldüngers mit 30,31 %, dagegen aber bei Lagerung auf altem in Gärung befindlichem Mist einschließlich der Verluste der Unterlage nur auf 16,94 % festgestellt wurde.

Mit dem Luftabschluß wird zugleich eine Nitrifikation des vorhandenen Stickstoffs in dem Miste ausgeschlossen, so daß in einem gleichmäßig festgelagerten Stalldünger auch Verluste an elementarem Stickstoff durch Denitrifikation ausgeschlossen sind, weil die dazu nötigen Nitrate im Miste fehlen. Anders ist es im locker lagernden Mist, wo die Luft einwirken und den Nitratbakterien die Möglichkeit zur Nitrifikation des Ammoniakstickstoffs geben kann. Auch die sonstige Bildung von freiem Stickstoff ist an das Vorhandensein von Luftsauerstoff gebunden, so daß auch hier die gute mechanische Pflege des Stalldüngers dem Verluste an Stickstoff entgegenwirkt.

Daß aber auch bei einer solchen sachgemäßen Behandlung des Stalldüngers noch Verluste an Stickstoff entstehen können, zeigen uns abgesehen von früher angeführten Untersuchungen die Feststellungen von Dietzel, Holdefleiß, Märker und Schneidewind, Stutzer, Pfeiffer, Hansen u. a. m. Ich führe nur aus den Versuchen des letzteren an, daß beim Lagern des Mistes 24,4% der organischen Stoffe und 17,76% des Gesamtstickstoffs verloren gegangen sind, Zahlen, welche durchaus nicht als Höchstzahlen der ermittelten Verluste zu gelten haben. Es ist deshalb erklärlich, daß man versucht hat, auch diese Versuche noch durch eine geeignete Behandlung des Stalldüngers zu vermeiden und zwar durch die Anwendung besonderer chemischer Zusätze zum Dünger. Grundbedingung mußte aber in allen diesen Fällen bleiben, daß die mechanische Pflege des Düngers eine feste Lagerung des Düngers sicherte.

Bei dieser Art der Konservierung des Stallmistes durch chemische Mittel ging man von zwei verschiedenen Gesichspunkten aus; einmal wollte man die Gärungserreger unterdrücken, also die Ammoniakbildung verhindern, wobei der Mist möglichst frisch und unzersetzt bleiben mußte, oder man störte die Zersetzung des Mistes nicht und wollte nachher das gebildete Ammoniak durch geeignete Zusätze in nicht flüchtige chemische Verbindungen überführen. Auf beiden Wegen ist das Ziel theoretisch erreichbar, doch haben sich bei der praktischen Durchführung Schwierigkeiten ergeben, die zum Teil in der Unsicherheit der richtigen Abmessung der Zusätze gelegen haben mögen, so daß die Wirkung entweder unbefriedigend und von geringer Dauer gewesen ist oder die Beschaffenheit des Stallmistes vermindert hat. Durchgreifende praktische Erfolge sind jedenfalls bei der Anwendung chemischer Mittel zur Konservierung des Stallmiststickstoffes ausgeblieben und dürfen auch nach den bisherigen Erfahrungen wohl kaum erwartet werden. Ich kann mich deshalb hier auch darauf beschränken, diese chemischen Konservierungsmittel nach ihrer Wirkung zu charakterisieren.

Als Konservierungsmittel mögen genannt werden: Schwefelsäure, Superphosphat, Superphosphatgips, Natriumbisulfat, Kainit, Gips, Präzipitat, Kalk, Mergel, also Mittel teils von saurer, teils von alkalischer oder neutraler Reaktion. Dazu kommen noch eine große Anzahl von Stoffen verschiedenster Art, die teils der einen, teils der anderen Art zuzuzählen sind, die aber in der Regel sich keiner längeren Anwendungszeit erfreuen konnten, weil sie eine lohnende Wirkung nicht zeigten; es erübrigt sich deshalb, auf diese Mittel im einzelnen einzugehen.

Es ist daran kein Zweifel, daß die sauren Mittel in der gedachten Art wirken werden, wenn sie in ausreichender, der Zusammensetzung des Stalldüngers angepaßter Menge verwendet werden; genügt die Menge des Konservierungsmittels nicht zur Erhaltung der sauren Reaktion des Düngers, dann tritt keine für die Stickstofferhaltung günstige Wirkung

ein, im Gegenteil kann dann ein günstiger Boden für das Bakterienwachstum im Mist geschaffen werden. Ich verweise besonders auf die Versuche von Pfeiffer, der z. B. beim Zusatz von 2 kg Superphosphatgips dieselben Stickstoffverluste fand, wie dort, wo gar kein Konservierungsmittel dem Dünger beigemischt worden war; erst als die Superphosphatgipsmenge auf 3 kg erhöht war, ging der Stickstoffverlust ganz erheblich zurück, wurde aber auch jetzt noch nicht ganz verhindert. Zu den sauren Konservierungsmitteln ist auch die Torfstreu zu rechnen, die infolge ihres Gehaltes an Humussäuren und ihrer schwer zersetzlichen organischen Stoffe die Bakterien in ihrer Lebenstätigkeit stört und die Verflüchtigung des Ammoniaks durch Bindung verhindert. In der Richtung der Wirkung der sauren Konservierungsmittel liegt auch die Anwendung der Molken, deren Zusatz Chr. Bartel zur Vermehrung der Säureerzeugung im Miste empfohlen hat, wenn die Molken billig genug zu haben sind.

Über die Wirkung des Kainits bei der Düngerkonservierung wird nicht immer gleichlautend berichtet; wahrscheinlich ist der Grund dafür darin zu suchen, daß die verwendete Menge nicht immer der Beschaffenheit des Stalldüngers entsprochen hat. Wir dürfen wohl mit Sicherheit annehmen, daß eine günstige Wirkung nur dann erreicht wird, wenn so große Mengen Kainit verwendet werden, daß jede Zersetzung aufgehoben wird. Damit wird aber auch zugleich die als nötig erkannte mäßige Verrottung des Stallmistes gehindert. Bei geringeren Mengen Kainit ist aber der Verlust an Stickstoff derselbe wie da, wo gar kein Kainit zugesetzt worden ist. Im ersteren Falle muß es sich aber auch um Kainitmengen handeln, die eine praktische Anwendung nicht finden können, vor allem nicht im Stalle selbst, weil sie durch ihre ätzenden Wirkungen den Tieren schaden können.

Beim Zusatz von Gips zu Stalldünger sind sehr verschiedene Ergebnisse über den Einfluß des Gipses auf den Stickstoffgehalt erhalten worden. Offenbar kann man nur bei der Anwendung größerer Gipsmengen mit einem Erfolge rechnen und hierdurch wird die Wirtschaftlichkeit dieser Anwendung in Frage gestellt.

Ätzkalk wirkt nach Schneidewinds Untersuchungen einmal dadurch, daß er die Gärungserreger in ihrer Arbeit stört; die zu befürchtenden Verluste durch Verflüchtigung von Ammoniak werden durch die Überführung des Ammoniakstickstoffs in Nitrat und Eiweiß zum Teil aufgehoben. Der Erfolg ist also sehr zweifelhaft, auch wenn man nicht berücksichtigt, daß der entstandene Eiweißstickstoff in der Wirkung zurücksteht. Kohlensaurer Kalk wirkt, wenn auch nicht ebenso stark, so doch letzten Endes ähnlich und fördert besonders die Eiweißbildung. Die günstigen Erfahrungen, die M. Märker mit der Anwendung von kohlensaurem Kalk auf die Stickstofferhaltung im Stalldünger gemacht

haben will, haben später ihre Erklärung darin gefunden, daß es sich dabei nicht eigentlich um die Wirkung von kohlensaurem Kalk gehandelt hat, sondern um Erde mit einem größeren Gehalt an kohlensaurem Kalk, die absorptiv auf das Ammoniak des Stalldüngers gewirkt hat, der Erfolg also nicht auf die Wirkung des kohlensauren Kalkes zurückzuführen ist.

So weit es sich um die Bindung des flüchtigen Ammoniaks und wenn auch in geringerem Grade um die Abtötung der Bakterienkeime handelt, können auch die Ergebnisse der Versuche über die Konservierung der Jauche in entsprechender Weise für die Konservierung des Stallmistes herangezogen werden. Ich kann deshalb auf diese Versuche verweisen und mich auf diese Mitteilungen über die Anwendung chemischer Mittel zur Konservierung des Stallmistes beschränken.

β) Jauche

Auch bei der Jauche ist die Vorbedingung für die Erhaltung des Stickstoffs der Abschluß der Luft. Zum Beweise hierfür führe ich nachstehende Versuchsergebnisse von R. Heinrich an, durch welche die Feststellungen in anderen Versuchen dieser Art bestätigt werden; Heinrich findet folgende Stickstoffverluste in Prozenten des Gesamtstickstoffs:

Bedeckung mit	in Harn nach:			in Jauche nach:		
	29 Tagen	60 Tagen	211 Tagen	29 Tagen	60 Tagen	211 Tagen
0	53,4 %	86,3 %	92,9 %	70,2 %	86,3 %	85,0 %
Petroleum	8,5 „	8,6 „	7,5 „	9,5 „	11,9 „	7,6 „
Harzöl	4,0 „	4,9 „	2,1 „	9,0 „	11,5 „	8,2 „

Da größere Mengen von Petroleum oder Harzöl auf dieselbe Menge Jauche nicht besser wirkten, so nimmt Heinrich an, daß diese angewendeten Mittel selbst auf die Bakterien nicht schädlich wirken, der Stickstoff vielmehr nur durch den Luftabschluß von Harn und Jauche erhalten geblieben ist. Ein gleiches Ergebnis haben Versuche Heinrichs mit Abdecken der Jauche durch eine Paraffinschicht gehabt; diese Schicht wirkte um so besser, je dicker sie war. Auch durch Bedecken der Jauche mit einem Holzdeckel oder einer Glasplatte wurde der Stickstoffverlust herabgedrückt, doch nicht in demselben Maße wie durch die bisher angegebenen Bedeckungsmittel, weil offenbar der Luftabschluß nicht in gleichem Grade erreicht worden war. Diese Ergebnisse bestätigen diejenigen von Heiden u. a. m. und sind so beweisend für die günstige Wirkung des Luftabschlusses auf die Erhaltung des Stickstoffs in der Jauche, daß darüber kein Zweifel aufkommen kann.

Für die Konservierung des Jauchestickstoffs sind chemisch wirkende Mittel vorgeschlagen wie Schwefelsäure, Phosphorsäure bezw. Superphosphat, Natriumbisulfat, ein Gemisch von Natriumbisulfat mit Gips, der sogenannte Bisulfatgips, Formalin, Superphosphatgips, Gips, Kainit, Torf, humose Braunkohle u. a. m. So weit es sich bei diesen Mitteln um Ammoniakbindung durch Säuren handelt, besteht in ihrer Anwendung insofern eine große Schwierigkeit, als die genaue Abmessung dieser Mittel eine Bestimmung der Alkalität der Jauche erfordert. Es wird deshalb hier, wie es auch beim Stallmist der Fall war, in den praktischen Betrieben nicht leicht sein, die Menge dieser Mittel der Zusammensetzung der Jauche anzupassen; das muß aber geschehen, wenn der Erfolg gesichert bleiben soll. Man könnte daran denken, die Bindung des Ammoniaks in jedem Falle durch einen Überschuß des sauren Zusatzmittels sicher zu stellen, vor allem auch, weil Versuche vorliegen, nach denen die konservierende Wirkung sich erst bei der sauren Reaktion der Jauche zeigt, wie neuerdings wieder Lemmermann und Wiesmann bestätigten. An sich ist dieses deshalb nicht unbedenklich, weil die überflüssige Säure beim Aufbringen der Jauche auf den Acker oder die Grünlandfläche Boden und Pflanzen schädigen würde. Zum Beweise der Wirkung der sauren Reaktion auf die Stickstofferhaltung beschränke ich mich auf die Angabe folgender Versuchsergebnisse Lemmermanns; danach waren die Verluste an Stickstoff in Prozenten des vorhandenen Stickstoffs bei:

Zusatz von:	Reaktion der Jauche nach Zusatz:			
	basisch		sauer	
	in 30 Tagen	in 62 Tagen	in 30 Tagen	in 62 Tagen
Schwefelsäure	28,85 %	48,30 %	0	0
Natriumbisulfat	23,91 „	31,69 „	0	0
Superphosphat	16,37 „	27,48 „	—	—

Der Zusatz von Superphosphat hat 10% betragen; eine saure Reaktion war hierbei nicht erreicht worden. M. Gerlach hat durch Natriumbisulfat ebenfalls eine günstige Wirkung auf den Stickstoff des Harns erreicht, weiter auch durch Zusatz von Superphosphat bis zur sauren Reaktion bei Kuhharn Stickstoffverluste verhindert; an Stickstoff waren ohne Zusatz nach 84 Tagen 71%, nach 154 Tagen 90% verloren gegangen, während der Verlust nach Zusatz von Superphosphat in dieser Zeit 0 und 4% gewesen war. Bei der Beurteilung dieser günstigen Wirkung des Superphosphates ist aber zu berücksichtigen, daß die wasserlösliche Phosphorsäure in Dikalziumphosphat übergeht und damit im Düngerwert geringer wird.

Zu den sauer wirkenden Konservierungsmitteln gehört auch Superphosphatgips, und gilt von diesem Mittel, wie von allen Mitteln dieser Art, daß ein Erfolg nur eintritt, wenn durch den Zusatz die saure Reaktion des Harnes gesichert ist. Gerlach fand bei 4% Zusatz noch einen Stickstoffverlust von 52,34% und erst bei 10% keinen Verlust an Stickstoff mehr.

Formalin ist schon früher zur Konservierung der Jauche verwendet worden; es wird neuerdings wieder in dem nach dem Verfahren von Rippert hergestellten Humoform dafür empfohlen. Die Ansichten über die praktische Brauchbarkeit dieses Mittels sind geteilt. Daß Formalin bezw. Formaldehyd konservierend auf Jauche wirkt, ist zu erwarten; Rippert hält dazu einen Zusatz von 2—3% für nötig, M. Gerlach rechnet mit 0,5% Formaldehyd, u. s. f. Zu beachten ist, daß bei einem Überschuß von Formaldehyd eine schädigende Wirkung auf die Pflanzen nicht ausgeschlossen ist. Blanck stellte fest, daß bei der Behandlung der Jauche mit Formalin je nach dem Grade der Vergärung der Jauche mehrere Verbindungen entstehen. Von diesen Verbindungen hat er mit seinen Schülern die Kondensationsprodukte des Harnstoffs mit Formaldehyd: Mono- und Dimethylolharnstoff geprüft und gefunden, daß der Stickstoff dieser Verbindungen von den Pflanzen gut verwertet wird. Gleiches gilt für das aus Ammoniak und Formaldehyd entstehende Hexamethylentetramin.

Von den anderen Konservierungsmitteln hat man besonders dem Gips eine Bedeutung für die Jauchekonservierung zusprechen wollen. Die Ergebnisse sind aber nicht eindeutig und dürfte dieses in der Hauptsache darauf zurückzuführen sein, daß die zugesetzte Menge Gips der Zusammensetzung der Jauche nicht angepaßt gewesen oder die Lösung des Gipses dem Gärungsprozeß in der Jauche nicht parallel gegangen ist. Bei Versuchen, die O. Nolte mit einem Abfallgips der Holzkohlekonservierungsanstalt in Konstanz, der neben rund 90% Gips noch 2,05% freie Säure (als Essigsäure berechnet) enthielt, ausgeführt hat, ist zwar ein erheblicher Teil des Stickstoffs erhalten geblieben, doch hat sich der Gips im praktischen Betriebe nicht bewährt.

Auch die Kalirohsalze, Kainit und Kieserit können nicht zu den wirksamen Jauchekonservierungsmitteln gezählt werden.

Daß durch Torfstreu der Stickstoff der Jauche festgehalten werden kann, wird keinem Zweifel begegnen. Die Verwendung der Torfstreu wird allerdings in der Hauptsache im Stalle, weniger in der Jauchegrube in Frage kommen. Lemmermann hat gezeigt, daß durch einen Zusatz von 5, 10 und 20% Torfstreu nach 30 tägiger Versuchsdauer die Stickstoffverluste von 71,96% ohne Zusatz auf 64,63% bezw. 34,08% und 31,26% gesenkt wurden; das von Wagner angegebene Verhältnis von Torfstreu zur Jauche wie 1 : 5 wird nicht immer ausreichend sein.

Dem Torf steht in seiner stickstofferhaltenden Wirkung die humose Braunkohle nahe; auch sie wirkt durch ihre saure Beschaffenheit. Die stickstoffbindende Kraft der Braunkohle geht mit der Reaktion parallel; sie ist vollständig, wenn die Jauche sauer ist. Nach Lemmermanns Feststellungen bindet die Braunkohle ungefähr 2—3 mal soviel Ammoniak als Torf.

Es kann davon abgesehen werden, noch andere Konservierungsmittel im einzelnen zu erwähnen; die bisherigen Ausführungen ermöglichen, sie nach ihrer chemischen Beschaffenheit in ihrem Werte als Konservierungsmittel einzuschätzen. Es hat O. Nolte die Versuchsergebnisse über die Einwirkung der chemischen Stoffe auf die Erhaltung des Stickstoffs in der Jauche in kurzer Weise zusammengefaßt; diese Zusammenstellung entspricht im allgemeinen den vorhergehenden Ausführungen und hebt vor allem die chemische Wirkung hervor; sie möge hier angegeben werden, um die Ausführungen hierüber abzukürzen. O. Nolte sagt:

„1. Die Chloride oder Sulfate der Alkalien vermögen überhaupt nicht konservierend zu wirken, weil gemäß der umkehrbaren Gleichung:

$$(NH_4)_2CO_3 + 2\,NaCl \rightleftarrows Na_2CO_3 + 2\,NH_4Cl$$

eine Konzentration des Kohlendioxyds nicht stattfindet. Wo man daher eine Konservierung des Jauchestickstoffs bei Anwendung von reinen Kalisalzen als Konservierungsmittel beobachtet hat, ist dies auf eine Einschränkung bezw. Verhütung von Stickstoffverlusten durch Luftabschluß zurückzuführen.

2. Die Chloride der Erdalkalien und Erden vermögen entsprechend ihrer Basizität und der Beständigkeit der Karbonate verschieden zu wirken. Während Magnesiumchlorid etwa 50% an Ammoniakstickstoff zu erhalten vermochte, stieg diese Menge beim Kalzium- bezw. Bariumchlorid auf etwa 85—90%. Noch besser vermag das Eisenchlorid zu wirken, welches sich ähnlich wie eine Säure verhält infolge der Hydrolyse:

$$FeCl_3 + 3\,H_2O \rightleftarrows Fe(OH)_3 + 3\,HCl.$$

3. Auch der Gips vermag verhältnismäßig günstig zu wirken, nämlich etwa 70% zu konservieren, sofern nur Sorge dafür getragen wird, daß sich tatsächlich der Gips mit dem Ammoniumkarbonat bis zum Gleichgewicht umzusetzen vermag.

4. Von den mineralisierten Säuren vermag die Schwefelsäure bei einem Zusatz von einem Äquivalent die Stickstoffverluste völlig zu unterdrücken, die Phosphorsäure dagegen erst dann, wenn zwei Äquivalente vorhanden sind, weil das dritte Wasserstoffatom der Phosphorsäure nicht sauer genug ist, um das Ammoniak völlig zu binden. Die Wirkung des primären Kaliumphosphates ist eine ähnliche wie die der Phosphorsäure. Erst wenn soviel primäres Salz vorhanden ist, daß nur zwei

Wasserstoffatome abgesättigt werden, ist die Konservierung eine vollständige."

Für die Beurteilung des wirtschaftlichen Wertes der Anwendung solcher Konservierungsmittel zur Erhaltung des Stickstoffs in der Jauche ist natürlich wichtig, wie hoch sich die Kosten für die Festhaltung von 1 kg Stickstoff stellen. Derartige Rentabilitätsberechnungen haben nur einen bedingten Wert, da die Preise, die für die Konservierungsmittel usw. dabei zugrunde gelegt werden, sich ändern und nicht immer für alle Faktoren bei den einzelnen in Vergleich gestellten Konservierungsmitteln sich gleichmäßig verschieben. Wenn daher die errechneten Werte auch immer nur für die bei der Berechnung vorhandenen besonderen Verhältnisse zutreffen, so geben sie uns doch einen gewissen Anhalt für die Beurteilung des wirtschaftlichen Wertes dieser Konservierungsmittel. Dieses ist umso mehr der Fall, wenn bei diesen Berechnungen von bestimmten Feststellungen über die Wirkung der einzelnen Konservierungsmittel ausgegangen werden kann. Lemmermann und Wießmann haben derartige Berechnungen durchgeführt; ich beschränke mich auf diesen Hinweis, ohne auf diese Berechnungen im einzelnen einzugehen.

h) Anwendung und Wirkungswert von Stallmist und Jauche

Für die Anwendung und die Beurteilung des Wirkungswertes des Stallmistes ist, wie schon hervorgehoben worden ist, zu beachten, daß der Stallmist nicht nur infolge der darin enthaltenen Nährstoffe ein gut wirksames Düngemittel ist, sondern durch die Zersetzung seiner organischen Stoffe auch auf die physikalische Beschaffenheit des Bodens günstig einwirkt. Während man die Nährstoffe in wirksamer Form auch durch künstliche Düngemittel geben könnte, versagen diese hinsichtlich der Wirkung auf die Bodenbeschaffenheit mit wenigen Ausnahmen von Düngemitteln organischen Ursprungs, welche auf zersetzungsfähige organische Stoffe entfallen. Diese bodenverbessernde Wirkung des Stallmistes ist aber die Grundlage für die Wirkung aller Pflanzennährstoffe, auch derjenigen der künstlichen Düngemittel, also bestimmend für den Erfolg der künstlichen Düngemittel überhaupt. Sie besteht in der Wirkung auf die Regulierung der Wärme, der Bewegung von Wasser und Luft im Boden, der Bodenlockerung, in der Förderung der Zersetzung der mineralischen und der organischen Bodenbestandteile u. s. f. In letzterer Hinsicht besonders sind Bakterien tätig, die sich ihre Nahrung aus den organischen Bestandteilen des Stalldüngers holen; ich verweise auf die früheren Ausführungen hierüber, auf die Bindung des Stickstoffs aus den leicht zersetzlichen Stoffen des Mistes bezw. des Harnes und die dadurch erreichte Sicherstellung des Stickstoffs für die spätere Ausnutzung durch die Pflanzen, auf die Bildung der Kohlen-

säure u. s. f. P. Wagner hat diesen Unterschied in der Wirkung des Stallmistes und der künstlichen Düngemittel in folgender Weise zusammengefaßt: „Der Stallmist hat die Aufgabe, die gesamten Fruchtbarkeitsfaktoren des Bodens auf gleichbleibender Höhe zu erhalten, den Humusgehalt des Bodens, die Erwärmungsfähigkeit des Bodens, seine wasserfassende Kraft, seine Lockerheit, seinen Gehalt an Nährstoffen zu konservieren. Die Handelsdünger dagegen haben die Aufgabe, unterstützend einzutreten, wo der Stallmist nicht reicht, um den Vorrat an disponiblen Nährstoffen auf die erforderliche Höhe zu bringen, oder wo es sich um eine Steigerung der Produktion, um eine Forcierung der Pflanzenernährung, um eine bessere Anpassung des Nährstoffvorrates an das besondere Bedürfnis der Kulturpflanzen handelt."

Wir erkennen aus diesen Ausführungen die Bedeutung beider Düngerarten für den Pflanzenbau, vor allem aber auch die Notwendigkeit der Zuführung der organischen Stoffe zum Boden. Es folgt daraus ohne weiteres, daß bei der Anwendung des Stallmistes so verfahren werden muß, daß diese durch die künstlichen oder Handelsdünger nicht ersetzbare Wirkung des Stallmistes nicht gestört wird. Wir wissen, daß letztere von einer gewissen Zersetzung oder Verrottung des Stallmistes abhängig ist. Frischer, unverrotteter oder nicht genügend zersetzter Stallmist wirkt auf das Wachstum der Pflanzen nicht immer günstig; sei es daß die Reaktion des Mistes durch vorhandenes Ammoniak aus nicht vollständig vergorenem Harnstickstoff zu stark alkalisch ist oder das Wachstum der Bakterien, die den leichtlöslichen Stickstoff in sich aufspeichern, besonders gefördert wird oder die in dem frischen Mist vorhandenen Nährstoffe den Bakterien nicht zusagen, sie hierzu vielmehr einer gewissen Zersetzung und Aufschließung bedürfen, in jedem Falle weisen alle Erfahrungen darauf hin, daß mäßig verrotteter Mist die angeführten nachteiligen Folgen nicht hat, sondern auf Boden und Pflanzen günstig wirkt. Es sei nur darauf hingewiesen, daß Wießmann bei der Düngung mit altem verrotteten Pferdemist einen Mehrertrag von 10% erzielte, mit frischem Pferdemist aber einen Ernteausfall von 40% hatte; er suchte die Ursache dafür in der Bindung des Stickstoffs in Bakterieneiweiß. Wesentlich ist aber zur Erhaltung dieser günstigen Wirkung, daß die Verrottung nicht zu weit geht, wie schon früher ausgeführt wurde, denn eine zu starke Zersetzung der organischen Stoffe ist zugleich eine Zerstörung der Nahrung und damit der Arbeit der Bakterien im Boden, die wir nicht entbehren können, ganz abgesehen von den Verlusten an organischen Stoffen. Diese Verluste sind durch die Entstehung flüchtiger Verbindungen gegeben und lassen sich niemals vollständig vermeiden. Solche Verbindungen sind Kohlendioxyd und Ammoniak, beide wichtig für das Pflanzenwachstum. Auf die Bedeutung des Kohlendioxydes ist schon früher eingegangen. Das

Ammoniak ist für die unmittelbare Düngewirkung des Stallmistes wesentlich. Daher müssen die Maßnahmen, die zur richtigen Leitung der Zersetzung der stickstoffhaltigen organischen Stoffe zu treffen sind, auch auf die Erhaltung des Ammoniakstickstoffs im Miste hinwirken. Wir haben früher gesehen, daß eine wesentliche Vorbedingung für die richtige Behandlung des Mistes der Luftabschluß ist und in dieser Richtung muß auch bei der Anwendung des Stallmistes in erster Linie mit vorgegangen werden. Gleiches gilt für die Jauche. Bekanntlich ist beim Ausfahren von Stallmist und Jauche und Ausbreiten dieser Dünger auf dem Felde die Möglichkeit des Luftzutrittes und damit die Verflüchtigung des Ammoniakstickstoffs mehr oder weniger gegeben; die Gefahr dieses Stickstoffverlustes ist um so größer, je höher der Ammoniakgehalt der Dünger ist, z. B. im Tiefstalldünger, sobald das Festtreten des Düngers durch die Tiere aufhört, wie es beim Ausfahren der Fall ist. Man hat geglaubt, den Ammoniakstickstoff durch Zusatz von Säure binden zu sollen. W. Schneidewind hat vorgeschlagen, dem Stalldünger Sand, der mit Salzsäure angesäuert ist, beizumischen. E. Blanck empfiehlt der Jauche Schwefelsäure zuzusetzen, bis eine Nentralisation erfolgt ist. Abgesehen davon, daß es im praktischen Betriebe schwierig sein wird, den Alkalinitätsgrad richtig zu erkennen und danach die erforderliche Schwefelsäuremenge zu bemessen, ist das Arbeiten mit Schwefelsäure nicht ohne Bedenken. M. Märcker will den Stickstoffverlust durch Bedecken des Düngers mit Erde verhindern. Das beste Mittel in diesem Falle, Stickstoffverluste zu verhüten, ist, einerlei ob es sich um Stallmist oder Jauche handelt, den Dünger sofort in den Boden zu bringen.

Wenn der Stalldünger längere Zeit auf dem Felde liegen bleibt und der Luft ungehindert ausgesetzt ist, wird nicht nur der Ammoniakstickstoff ausgetrieben, sondern es verschwinden auch die leicht löslichen organischen Stoffe und bleiben nur die schwerzersetzlichen rohfaserreichen Reste zurück, welche auch in der Wirkung zurückstehen müssen. Wenn der Mist dabei noch in kleineren Haufen lagert, so besteht die weitere Gefahr, daß durch die Einwirkung der atmosphärischen Niederschläge wie Regen und Nebel die löslichen Mineralstoffe gelöst werden, an den Lagerstellen in den Boden versickern und damit zur Bildung von Geilstellen und Ungleichmäßigkeiten in dem Feldstück führen. Diesem Liegenlassen des Mistes in kleineren Haufen, dem schlechtesten Verfahren der Stallmistanwendung, ist immer das gleichmäßige Ausbreiten des Düngers auf dem Felde vorzuziehen. Auch hierbei gehen die flüchtigen Stickstoffverbindungen verloren, versickern die gelösten mineralischen Stoffe und ist dabei die Zersetzung der kohlenstoffhaltigen Substanz unvermeidlich; aber es tritt eine gleichmäßigere Verteilung der Nährstoffe im Boden ein und, was für besondere Bodenverhältnisse von entscheidendem Wert für diese Art der Anwendung des Stallmistes

sein kann, es findet durch eine solche Stallmistdecke eine günstige Beeinflussung der physikalischen und biologischen Verhältnisse im Boden statt, die für eine gute sachgemäße Bearbeitung und die Fruchtbarkeit des Bodens notwendig sein kann. Dieses gilt vor allem für schwere tonige Böden mit ungünstigen physikalischen Eigenschaften, welche den Zutritt der Luft zum Bodeninnern hindern, die Wasserbewegung im Boden stören und die Erwärmung des Boden erschweren. Daraus erklären sich auch die günstigen Erfahrungen, die P. v. Richthofen mit diesem Verfahren, das schon von A. v. Rosenberg-Lipinski empfohlen wurde, gemacht hat. P. v. Richthofen läßt den Stalldünger den Winter über auf dem gepflügten Acker ausgebreitet liegen und bringt ihn im Frühjahr nur oberflächlich unter. Wenn dieses Verfahren zum Teil Ablehnung erfahren hat, so überrascht dieses nicht, denn es darf nicht verallgemeinert, sondern muß auf Böden beschränkt werden, deren physikalische Beschaffenheit ungünstig ist und bei denen eine Verbesserung dieser Eigenschaften mit ihrer Folge einer Bodengare für die Fruchtbarkeit des Bodens wertvoller sein kann, als die direkte Nährstoffzufuhr durch den Mist, für die insbesondere die Zufuhr von Stickstoff in Frage kommt.

Dieses Verfahren ist also ein Ausnahmeverfahren, dessen Anwendung sich nur für bestimmte Verhältnisse rechtfertigen läßt. Die Regel wird bei der Anwendung des Stallmistes immer das baldige Unterbringen in den Boden sein, damit hier die Zersetzung der organischen Stoffe weiter vor sich geht, die Kleinlebewesen ihre nützliche Arbeit vollbringen und die gebildeten Zersetzungsprodukte auf den Boden und weiter für die Pflanzenernährung günstig wirken können. Um diese günstige Zersetzung des Stalldüngers im Boden zu erreichen, muß die Unterbringung des Mistes so erfolgen, daß die Luft soweit Zutritt hat, daß der Zersetzungsprozeß der organischen Stoffe sich langsam vollziehen kann. Daraus folgt, daß je nach dem Luftzutritt zum Bodeninnern der Mist tiefer oder flacher unterzubringen ist, wenn er eine günstige Wirkung ausüben soll. Da der Grad des Luftzutrittes zum Boden von der Bodenbeschaffenheit abhängig ist, so folgt daraus, daß die Tiefe des Unterbringens des Mistes im Boden in der Hauptsache durch die Bodenbeschaffenheit bestimmt wird. Je leichter der Boden ist, desto besser kann die Luft eindringen und desto tiefer darf der Mist untergebracht werden, ohne seine Wirkung zu gefährden; besonders wenn der Boden in der oberen Schicht leicht austrocknet, ist ein tieferes Unterbringen des Mistes geboten. Je schwerer der Boden ist, desto schwieriger ist der Luftzutritt und desto flacher ist der Mist unterzubringen, wenn man nicht Gefahr laufen will, daß der Mist im Boden vertorft und damit unwirksam wird. Man darf aber auch auf dem leichten Boden den Mist nicht zu tief unterbringen; es

muß abgesehen von der Möglichkeit der Einwirkung der Luft auch immer die Erreichbarkeit seiner Nährstoffe durch die Pflanzenwurzeln gegeben sein, der Mist also auch auf dem leichtesten Boden in der oberen Kulturschicht bleiben.

Wenn die Wirkung des Stalldüngers von seiner mehr oder weniger schnellen Zersetzung abhängig ist, so ist damit auch die Zeit der Anwendung bezw. des Unterbringens in den Boden bereits bestimmt. Die Zersetzung erfolgt nach den vorhergehenden Ausführungen in dem leichteren Boden schneller als in dem schwereren Boden. Man wird daher in dem schwereren Boden den Mist früher oder später vor der Aussaat einbringen dürfen, ohne Verluste befürchten zu müssen, als in leichterem Bodem, bei dem zwischen Stallmistdüngung und Aussaat eine kürzere Zeit liegen kann. Für dieses Verfahren spricht auch, daß die Absorptionskraft des schwereren Bodens für die gelösten Nährstoffe des Stalldüngers größer ist, als in dem leichteren Boden, sodaß auch für diese Nährstoffe die Gefahr des Versickerns nicht besteht.

Für die direkte ernährende Wirkung des Stalldüngers ist nach den früheren Ausführungen das Verhältnis von Kot zu Harn im Miste bestimmend, weil der hauptsächlichste Pflanzennährstoff, der Stickstoff, im Kot in schwerlöslicher Form, im Harn in der Bindung der leichtzersetzlichen Form des Harnstoffs vorhanden ist. Daraus erklärt sich von selbst, daß die Ergebnisse aus Versuchen, die mit Stallmist verschiedener Herkunft und deshalb nicht gleicher Zusammensetzung ausgeführt worden sind, in der Wirkung des Stickstoffs nicht übereinstimmen. Wir dürfen auf Grund der Versuche von P. Wagner, Th. Pfeiffer, W. Schneidewind, B. Schulze u. a. m. wohl mit einer durchschnittlichen Wirkung von 25—30% des vorhandenen Stickstoffs rechnen. Pfeiffer berechnet zwar die Gesamtwirkung des Stallmiststickstoffs noch etwas höher, nämlich mit 32,7% und sieht den Grund für die niedrigere Einschätzung derselben durch Wagner mit 25% in einer Verwechslung von Wirkungswert mit Ausnutzung des Stickstoffs, doch sind die von Wagner angegebenen Zahlen nicht in diesem Sinne auszulegen. Die angegebenen Abweichungen in der Wirkung sind auch so gering, daß sie zwanglos durch die Verschiedenheit in der Zusammensetzung des Stallmiststickstoffs erklärt werden können. Letztere dürfte auch für die Verteilung der Wirkung auf die einzelnen Jahre entscheidend sein, denn je stärker die Ausnutzung des Stallmiststickstoffs im ersten Jahre der Anwendung infolge der leichteren Zersetzlichkeit ist, desto geringer wird die Nachwirkung in den folgenden Jahren sein. B. Schulze berechnet aus seinen Versuchen, daß von dem Stallmiststickstoff im Mittel aufgenommen werden im 1. Jahre 43%, im 2. Jahre 27,8%, im 3. Jahre 16,6%, im 4. Jahre 12,6%. Es entsprechen diese Zahlen ungefähr der landläufigen Annahme, daß bei

vierjähriger Wirkungsdauer einer Stallmistdüngung im 1. Jahre $^1/_2$, im 2. Jahre $^1/_4$, und im 3. und 4. Jahre je $^1/_8$ der Gesamtwirkung eintritt. Ich gebe diese Zahlen nur als Anhalt für die Beurteilung der Verteilung der Stickstoffaufnahme aus Stallmist wieder, ohne sie damit als allgemein gültig hinstellen zu wollen. Die Zahlen zeigen, wie die Stickstoffaufnahme mit der Dauer des Versuches zurückgegangen ist, und Schulze sagt selbst, daß im 4. Jahre nicht mehr viel wirksamer Stickstoff vorhanden gewesen sein dürfte. Letztere Ansicht scheint mir für die Beurteilung der Stallmistwirkung allgemein sehr wichtig zu sein, da sie darauf hindeutet, daß man sich über die Dauer der Wirkung des Stallmiststickstoffs und des Stallmistes überhaupt täuscht. Ich führe dafür auch eigene Versuche an, bei denen ich die Zersetzung des Stallmistes im Boden durch die Bestimmung der Menge des gebildeten Kohlendioxyds verfolgte; dabei konnte ich feststellen, daß die Zersetzung der organischen Stoffe mit dem 2. Versuchsjahre im wesentlichen zu Ende ist.

Sicherlich spielt bei der Dauer der Nachwirkung die Zusammensetzung des Stallmiststickstoffs und die Art der Aufbewahrung und Behandlung des Stallmistes eine Rolle, weil davon nicht nur die Löslichkeit und somit auch die Wirksamkeit des ursprünglich vorhandenen Stallmiststickstoffs abhängt, sondern auch die Menge des zunächst löslichen, aber nachher von den Bakterien festgelegten Stickstoffs. Für die Wirkung selbst ist die Art der Anwendung des Stallmistes wichtig. Hier decken sich die Maßnahmen für die Erhaltung der Stickstoffwirkung mit denjenigen für die richtige Leitung der Zersetzung der organischen Stoffe zu ihrer vollen Nutzung, sodaß darauf verwiesen werden kann. Auch hier gilt die Verhinderung des Verlustes der flüchtigen Stoffe und Verlegung der Zersetzung der Stickstoffverbindungen in den Boden, damit vor allem auch die entstehenden flüchtigen Stickstoffverbindungen im Boden erhalten bleiben und den Pflanzen zur Ernährung zugeführt werden können.

Hierbei ist besonders der aus dem Harn stammende Stickstoff gefährdet, wenn er in der Jauche dem Acker zugeführt wird, weil er beim Aufbringen auf den Acker hierbei der Lufteinwirkung sehr ausgesetzt ist, wenn die Jauche nicht sofort in den Boden gebracht wird. Dieses bestätigen auch die Versuche von R. Heinrich, F. Honkamp, und E. Blanck. Wo dieses sofortige Unterbringen von Jauche in den Boden nicht möglich ist, z. B. bei Frostwetter, muß immer mit Stickstoffverlusten gerechnet werden. Für die Tiefe des Unterbringens ist wie beim Stallmist auch bei der Jauche die Bodenart bestimmend, indem auf dem leichteren Boden die Wirkung des Stickstoffs mit der Tiefe des Unterbringens zunimmt; nach den Rostocker Versuchen scheint eine Tiefe von 15 cm ausreichend zu sein, um die volle Wirkung des Jauchestickstoffs zu sichern. Um ein Auswaschen des Stickstoffs zu verhüten, darf

die Jauche nicht längere Zeit vor der Aussaat angewendet werden, besonders nicht auf leichterem Boden, während auf tiefgründigem schwerem Boden diese Verlustgefahr zurücktritt; auch hier sollte aber zwischen Ausfahren der Jauche und Aussaat nicht eine längere Zeit liegen und ist daher das Ausfahren der Jauche im Herbst oder Winter nicht zu empfehlen.

Die große Flüchtigkeit des Jauchestickstoffs verbietet die Anwendung der Jauche als Kopfdünger; R. Heinrich stellte einen starken Rückgang der Stickstoffwirkung fest, wenn die Jauche auch nur einen Tag obenauf liegen blieb. Es ist ratsam, die Jauche nicht bei sonnigem oder windigem Wetter, sondern an trüben, regnerischen und windstillen Tagen auszufahren. Wenn es gelingt die Jauche ohne große Verluste in den Boden zu bringen, darf man mit einer Wirkung des Stickstoffs rechnen, die sich der Wirkung des Stickstoffs in den leicht löslichen Stickstoffdüngern des Handels nähert, wenn auch nicht ganz erreicht. Ist die Jauche mit chemischen Mitteln konserviert, so daß sich der Stickstoff beim Zutritt der Luft nicht so schnell verflüchtigen kann, wird dieser Unterschied in der Wirkung gegenüber dem Stickstoff der künstlichen Düngemittel noch geringer, wenn die Jauche nicht zu tief in den Boden kommt.

Neben dem Stickstoff sind früher noch besonders Phosphorsäure und Kali als die im Stallmist und in der Jauche vorhandenen Pflanzennährstoffe genannt worden. Die Versuche, welche besonders P. Wagner über die Ausnutzung der Phosphorsäure und des Kalis im Stallmist ausgeführt hat, zeigen deutlich, daß, wenn die Mengen daran auch prozentisch gering sind, diese doch äußerst wirksam sein können und daher nicht unterschätzt werden dürfen. Es ist eine alte Erfahrung, daß sowohl die Stallmistphosphorsäure wie auch das Stallmistkali schneller und stärker ausgenutzt werden, als dieses bei den künstlichen Düngemitteln der Fall ist. Es zeigt sich dieses besonders bei den Hackfrüchten. So reicht z. B. bei den Kartoffeln, die nicht gerade ein sehr starkes Phosphorsäurebedürfnis haben, oft die Phosphorsäure der bei Kartoffeln üblichen Stallmistdüngung aus. Dieses ist nur dadurch zu erklären, daß die Stallmistphosphorsäure sehr schnell zur Wirkung kommt. Diese Beobachtung wird für alle wirtschaftlichen Verhältnisse bestätigt und scheint weder durch den Boden, noch durch die Pflanze, noch durch klimatische Verhältnisse beeinflußt zu werden. P. Wagner findet, daß die Ausnutzung der Stallmistphosphorsäure rund 30% beträgt, bei Thomasmehl kaum die Hälfte; bei Superphosphat ist es ähnlich. Nach den Versuchsergebnissen Wagners wird das Stallmistkali zu 85% ausgenutzt. Es bedarf keiner weiteren Auseinandersetzung, daß diese Ausnutzungswerte je nach Bodenbeschaffenheit, Nährstoffvorrat im Boden, Pflanzenart verschieden lauten; dadurch wird aber die als allgemein

gültig anerkannte Tatsache nicht geändert, daß die Phosphorsäure und das Kali des Stallmistes schneller und stärker ausgenutzt werden als diese Nährstoffe in den künstlichen Handelsdüngemitteln. Ich gebe als Beispiel für die Ausnutzung dieser Nährstoffe im Stallmist in 2 Jahren nur die folgenden Versuchsergebnisse Schneidewinds:

	1. Jahr	2. Jahr	in 2 Jahren	1. Jahr	2. Jahr	in 2 Jahren
Versuchspflanzen . . .	Zuckerrübe	Gerste		Kartoffel	Weizen	
Ausnutzung der Phosphorsäure	29,8 %	3,9 %	33,7 %	15,3 %	9,4 %	24,7 %
Ausnutzung des Kalis	30,7 „	12,0 „	42,7 „	54,7 „	15,7 „	60,4 „

Diese Zahlen zeigen deutlich die stärkere Ausnutzung der Stallmistphosphorsäure und des Stallmistkalis durch die Zuckerrübe und durch die Kartoffel. In allen Fällen ist die Ausnutzung von Phosphorsäure und Kali in dem ersten Jahre am besten und in den folgenden Jahren geringer.

Die unterschiedliche Wirkung der Nährstoffe im Stallmist und Kunstdünger kann überraschen, da sie sich bei der Phosphorsäure sowohl gegenüber der schwerer löslichen Phosphorsäure des Thomasmehles, wie gegenüber der wasserlöslichen Phosphorsäure des Superphosphates zeigt und beim Kali auch gegenüber dem leichtlöslichen Kali der Kalisalze hervortritt. Die Ursache hierfür sieht Wagner in der Absorptionskraft des Bodens, der die Phosphorsäure und das Kali des Stallmistes nicht in demselben Grade unterliegen, wie diese Nährstoffe in den künstlichen Düngemitteln. Dabei wird die weitgehendere und bessere Verteilung der künstlichen Düngemittel mitsprechen. Bei der wasserlöslichen Phosphorsäure des Superphosphates ist die durch die bessere und gleichmäßigere Verteilung gegebene stärkere Absorption leicht erklärlich und ergibt sich daraus auch die langsamere Wirkung. Für die Thomasschlacke mit ihrer schwerer löslichen Phosphorsäure hat Wagner gefunden, daß die weitgehende Feinheit und die damit gegebene bessere Verteilung und Aufschließung der Phosphorsäure im Boden nur bis zu einer bestimmten Grenze eine bessere Ausnutzung der Phosphorsäure bewirkt. Wenn dieser Feinheitsgrad überschritten wird, geht die Ausnutzung zurück. Wagner findet dieses durch Versuche bestätigt, bei denen in Thomasmehl von allerfeinster Mahlung die Ausnutzung der Phosphorsäure gegenüber der Phosphorsäure in Thomasmehl von normalem Feinheitsgrad zurückblieb. Gleiches wie für diese Phosphorsäuredünger gilt für das Kali der Kalisalze. Demgegenüber ist allein schon wegen der sperrigen Beschaffenheit der Einstreu eine so gute und gleichmäßige Verteilung des Stallmistes im Boden nicht möglich, also auch nicht mit einer solchen der Phosphorsäure und des Kalis darin zu rechnen.

Die Annahme, daß die Absorption dieser Nährstoffe im Boden je nach ihrer Herkunft die Schnelligkeit und Stärke der Wirkung beeinflußt, ist daher nicht abzuweisen.

In der Jauche tritt die Phosphorsäure sehr zurück. Hier kommt von den Mineralstoffen nur noch dem Kali eine Bedeutung für die Pflanzenernährung zu. Dieses Kali in der Jauche wirkt wie das Kali der Kalisalze.

Für die geringere und stärkere Ausnutzung der Nährstoffe in Stallmist und Jauche ist die Art der angebauten Pflanzen von wesentlicher Bedeutung. Wenn wir die früheren Ausführungen über die Wirkung des Stallmistes auf die Bodengare beachten, so müssen wir ohne weiteres zu der Auffassung kommen, daß alle diejenigen Pflanzen, die für ihr Gedeihen eine gute Bodengare verlangen, für eine sachgemäße Düngung mit Stallmist besonders dankbar sein müssen. Die Erfahrung bestätigt diese Schlußfolgerung. Die beste Ausnutzung des Stallmistes haben wir durch Hackfrüchte wie Kartoffel, Zuckerrübe, Futterrunkel, Wruken, Möhren, weiter durch Ölfrüchte: Raps, Rübsen, Mohn und Gespinstpflanzen: Lein, Hanf. Halmfrüchte treten zurück; sie nutzen den Stallmist am besten im zweiten Jahre der Anwendung aus. In frischer Stallmistdüngung stellt sich bei Halmfrüchten leicht Lager ein. Auch will man darauf eine leichtere Anfälligkeit der Pflanzen für Krankheiten beobachtet haben, die aber wenigstens zum Teil wohl eine Folge des leichteren Lagerns ist. Jedenfalls ist es angebracht, eine Stallmistdüngung sehr frühzeitig zu geben, einmal damit die erforderliche Zersetzung eintreten kann, dann aber auch damit der Boden sich wieder setzen kann und nicht zu locker ist. Für die Leguminosen hat der Stallmist eine geringere Bedeutung; er kommt hierbei auch nur in geringem Grade zur Anwendung. Gleiches gilt auch für Grünland allgemein, insbesondere für Wiesen und Weiden. Hier kommt weniger die Nährwirkung des Stallmistes in Frage, als die Beeinflussung der biologischen Beschaffenheit des Bodens, die Begünstigung des Gedeihens der Bakterien u. s. f., Wirkungen, die auf Grasland besser durch kompostierten Mist oder Komposterde zu erreichen sind, als durch den gewöhnlichen Stallmist.

Ob es zweckmäßig ist, mit Stallmist in längeren Zeitzwischenräumen mit größeren Mengen zu düngen, wie es früher mehr üblich war, oder kleinere Stallmistgaben öfters zu wiederholen, wie es heute mehr vorgeschlagen wird, ist eine Streitfrage, welche kaum eine allgemeine Lösung finden wird, weil hierbei auch wirtschaftliche Gründe mitsprechen. Wenn man beachtet, daß die Zersetzung und Ausnutzung des Stallmistes nach den früheren Ausführungen schneller verläuft, als früher angenommen worden ist, so wird man sich für die öftere Düngung mit kleineren Stallmistmengen entscheiden müssen. Diesem Schluß entspricht auch die Feststellung, daß die prozentuale Ertragssteigerung mit

steigenden Stallmistgaben zurückgeht, die wiederholten kleinen Stallmistgaben sich also besser bewähren.

Die Jauche findet auf Ackerland die beste Verwendung zu Rüben, besonders zu Futterrüben. Bei Kartoffeln ist sie weniger am Platze, da sie wahrscheinlich infolge ihres Stickstoffgehaltes und der vorhandenen Salze auf die Qualität der Kartoffeln nachteilig wirkt. Bei Getreide ist die Art der Anwendung schwierig, wenn die Jauche als Kopfdüngung gegeben werden soll; kurz vor der Aussaat untergebracht wirkt die Jauche auch bei Getreide günstig.

Vor allem ist die Jauche der für Wiesen, Weiden und Grünland allgemein gegebene Dünger. Hier muß die Düngung als Kopfdüngung erfolgen und deshalb wie überall dort, wo diese Art der Anwendung nicht zu umgehen ist, von vornherein mit Stickstoffverlusten gerechnet werden. Das ist durch die früheren Ausführungen über die Verflüchtigung des Stickstoffs bei Einwirkung der Luft begründet. Ich füge hier noch Versuchsergebnisse an, welche P. Liechti bei seinen Versuchen über die Anwendung der Gülle erhalten hat; er stellte dabei fest, daß ein Ausbringen der Gülle bei mäßigem Winde innerhalb sieben Stunden einen Stickstoffverlust von 12% zur Folge hatte, daß auf Ackerland in den ersten Tagen ein Verlust von 30% eintrat, dieser Verlust bei Windstille und feuchter Luft geringer war. Während beim Aufbringen der Gülle bei Tauwetter auf Schnee nur geringe Verluste eintraten, waren sie auf gefrorenem Schnee groß. Diese Feststellungen bedürfen keiner weiteren Erläuterung; sie decken sich mit anderen Beobachtungen, die dahin gehen, daß durch alle Umstände, die ein schnelles Einbringen der Jauche in den Boden verhindern, also die Einwirkung der Luft auf die Jauche fördern, der Verlust an Stickstoff vergrößert wird.

Die in Stallmist und Jauche dem Boden zugeführten Nährstoffe genügen für die Erzielung von Höchsternten nicht, vielmehr ist hierzu immer eine Beidüngung mit künstlichen Düngemitteln nötig. Der Stalldünger gilt zwar als vollständiger Dünger, ist es aber nur insofern, als er auf die Bodenbeschaffenheit günstig wirkt, wie auch dem Boden unmittelbar wirksame Nährstoffe zuführt. Die Pflanzennahrung ist also hinsichtlich der einzelnen Stoffe vollständig, genügt aber nicht der Menge nach. Diese fehlenden Mengen sind einmal von dem Düngungsbedürfnis des Bodens und dem Nährstoffbedürfnis der Pflanzen abhängig und mit diesen Faktoren verschieden, sie hängen weiter aber auch von der Beschaffenheit des Stallmistes ab, die je nach der Behandlung des Stallmistes bei der Aufbewahrung wechseln kann, aber auch durch die Art des Wirtschaftbetriebes beeinflußt werden muß. Wenn in einer Wirtschaft hauptsächlich Körnerbau getrieben wird und Körner verkauft werden, so werden mit den Körnern größere Mengen Stickstoff aus der

Wirtschaft fortgeführt. Handelt es sich mehr um Viehhaltung, so kommt es darauf an, ob in erster Linie Milchvieh oder Mastvieh gehalten wird, wenn wir wissen wollen, welche Nährstoffe aus der Wirtschaft verschwinden. Die Milch ist reich an Stickstoff und muß deshalb beim Verkauf von Milch mit einem stärkeren Stickstoffbedarf gerechnet werden; dabei ist aber auch zu berücksichtigen, daß in diesem Falle den Tieren ein nährstoffreiches Futter gegeben wird, wodurch der Stickstoffgehalt des Mistes wieder begünstigt werden kann. Bei der Mastviehhaltung wird im Fleisch und in den Knochen der verkauften Tiere vor allem Stickstoff und Phosphorsäure aus der Wirtschaft ausgeführt, sodaß in diesem Falle auf den Ersatz dieser Stoffe Bedacht genommen werden muß. Auch hier muß die nährstoffreichere Fütterung bei richtiger Mästung berücksichtigt werden. In Zuckerrübenwirtschaften werden in den Rüben besonders Stickstoff und Kali ausgeführt, in den Rübenköpfen bleiben zwar nicht unerhebliche Nährstoffmengen in der Wirtschaft zurück, aber die Nährstoffausfuhr in den Rüben ist doch noch so groß, daß ein Ersatz neben Stallmist nicht unterbleiben kann. Was weiter noch in Melasse und Schnitzeln der Wirtschaft wieder zugeführt wird, ist immer nur ein kleiner Teil der ausgeführten Nährstoffe. Auch mit den verkauften Kartoffeln verschwinden Nährstoffe aus der Wirtschaft; besonders entstehen dadurch Ausfälle an Stickstoff und Kali; aber auch an Phosphorsäure und Kalk. Am günstigsten liegen die Verhältnisse in Brennereiwirtschaften, weil mit dem Spiritus kein Pflanzennährstoff aus der Wirtschaft hinausgeht, diese vielmehr in der Schlempe in der Wirtschaft verbleiben und durch den Stallmist dem Acker wieder zugeführt werden. Der hierbei entstehende Ausfall liegt darin, daß die in dem Mist wiedergewonnenen Nährstoffe nicht in vollem Grade ausgenutzt werden.

Es ist hiernach nicht möglich oder auch nur halberlei zutreffend zu berechnen, wie groß der Ausfall an Nährstoffen in den einzelnen Fällen ist. Die Verhältnisse sind zu wechselnd und erscheinen noch verwickelter, wenn wir die verschiedenen Erträge berücksichtigen. Die nachfolgenden Berechnungen gewähren uns einen Einblick darin. Wenn wir aus den Durchschnittserträgen in Deutschland und aus der durchschnittlichen Zusammensetzung derselben die darin enthaltenen Mengen an Stickstoff, Phosphorsäure, Kalk und Kali berechnen, so finden wir die folgenden Zahlen (Tabelle S. 78).

Die angegebenen Erträge sind gewiß nicht hoch; sie entsprechen aber etwa dem Reichsdurchschnitt. Wo höhere Erträge erzielt werden, ist auch mit einer stärkeren Nährstoffentnahme aus dem Boden zu rechnen, so daß sich das Ergebnis aus einem Vergleich mit den durch eine Stallmistdüngung zugeführten Nährstoffen noch ungünstiger stellen muß, als bei Zugrundelegung dieser Durchschnittserträge. Diese Zahlen

Bezeichnung der Ernteerzeugnisse		Ertrag je ha	je ha in kg			
		dz	Stickstoff	Phosphorsäure	Kalk	Kali
Winterweizen:	Körner	20	32,0	17,0	1,4	10,0
	Stroh	40	18,0	10,4	11,6	40,0
Sommerweizen:	Körner	20	41,0	17,0	1,0	12,0
	Stroh	35	19,6	7,0	9,1	26,3
Roggen:	Körner	18	24,5	14,9	1,8	10,5
	Stroh	30	13,5	7,8	8,7	30,0
Wintergerste:	Körner	20	34,0	13,2	2,0	13,0
	Stroh	30	19,5	5,4	15,0	36,0
Sommergerste:	Körner	20	30,0	17,0	2,0	11,0
	Stroh	30	15,0	6,0	9,9	30,0
Hafer:	Körner	18	32,4	15,3	2,9	14,4
	Stroh	35	22,8	10,5	14,7	57,4
Ackerbohnen:	Körner	20	81,6	24,2	3,0	25,8
	Stroh	30	37,5	8,7	36,0	58,2
Erbsen:	Körner	16	58,4	16,0	1,4	20,0
	Stroh	25	35,0	8,7	40,5	12,5
Kartoffeln:	Knollen	150	48,0	21,0	45,0	90,0
	Laub	50	15,0	8,0	40,0	42,5
Zuckerrüben:	Rüben	300	60,0	24,0	18,0	75,0
	Laub	120	36,0	12,0	20,4	60,0
Futterrunkeln:	Rüben	600	114,0	42,0	18,0	240,0
	Laub	150	45,0	12,0	24,0	37,5
Wiesenheu		40	68,0	28,0	38,0	72,0
Kleeheu		45	56,3	18,0	72,0	54,0

für die berechneten Nährstoffmengen in den angegebenen Ernten lassen erkennen, daß wir in einer mittleren Stallmistdüngung nur einen Teil der durch die Ernten entzogenen Nährstoffe in aufnehmbarer Form dem Boden wieder zuführen, daß die fehlende Menge naturgemäß je nach der Pflanzenart verschieden ist. Wenn wir im Stallmist mit einem mittleren Gehalt von 0,45% Stickstoff, 0,23% Phosphorsäure, 0,33% Kalk und 0,52% Kali rechnen, so sind in einer mittleren Stallmistdüngung von 400 dz je ha enthalten:

	Stickstoff	Phosphorsäure	Kali
In 400 dz Stallmist in kg	180	92	208
davon ausnutzbar in %	25	30	50
Gesamtmenge ausnutzbarer Nährstoffe in kg	45	27,6	104

Wenn wir nur mit einer zweijährigen Stallmistwirkung rechnen wollen, so zeigt uns ein Vergleich dieser ausnutzbaren Nährstoffmengen im Stallmist mit zwei Getreideernten, daß die durch diese Pflanzen entzogenen Mengen an Stickstoff und Phosphorsäure durch die Stallmistdüngung nicht ersetzt werden, daß auch der Kalientzug aus dem Boden nicht gedeckt wird, sobald kalireichere Pflanzen als die Getreidearten z. B. Hackfrüchte angebaut sind. Es kann davon abgesehen werden, hierfür einzelne Beispiele zusammenzustellen, da sich diese aus den vorstehenden Beispielen von selbst ergeben. Selbstredend werden diese Verhältnisse noch ungünstiger, wenn man mit einer längeren Ausnutzung der Stallmistnährstoffe als 2 Jahre rechnet, wie es gewöhnlich der Fall ist. Diese Angaben zeigen uns, daß wir, abgesehen von den sonstigen Wirkungen des Stallmistes, durch den Stallmist allein nicht den Nährstoffbedarf der Pflanzen im ganzen oder zum Teil decken können, wenn es sich um eine mittlere Durchschnittsernte handelt; um so weniger wird dies der Fall sein, wenn Höchsterträge erzielt werden sollen. Versuche und Erfahrungen im praktischen Betriebe zeigen daher auch, daß durch die Beigabe künstlicher Düngemittel zu Stallmist je nach dem Boden und nach der angebauten Pflanze die Erträge mehr oder weniger gesteigert werden. Zum Beweise hierfür mögen einige Ergebnisse aus den Freilandversuchen auf unserem Versuchsfelde dienen. Bei einem Versuche mit verschiedenen Sorten Stallmist zu Runkelrüben auf einem in gutem Düngungszustande befindlichen Lehmboden wurde einmal neben Stalldünger die gleiche Grunddüngung mit Stickstoff, Phosphorsäure und Kali gegeben, in einer 2. Versuchsreihe aber diese Mineraldüngung noch verstärkt; es wurde auf 1 ha berechnet in dz geerntet:

	Stallmist		Stallmist- und Mineraldüngung	
	Rüben	Laub	Rüben	Laub
Frischer Mist	927,3	88,6	1158,2	154.2
Gut konservierter Mist . . .	844,4	102,1	997,4	128,0
Hofmist	978,7	120,1	1076,7	131,1

Obwohl in der ersten Versuchsreihe neben Stallmist bereits künstliche Düngemittel gegeben waren, hat die Verstärkung der Kunstdünger in der zweiten Versuchsreihe doch noch eine Ertragssteigerung in allen Fällen bei Rüben und Laub gebracht.

Bei einem Versuch mit Kartoffeln, bei dem neben Stallmist die Düngung mit Stickstoff, Phosphorsäure und Kali in einfacher und doppelter Gabe erfolgte, wurde in dz je ha geerntet durch:

	Stallmist	Stallmist- und 1fache Mineraldüngung	Stallmist- und 2fache Mineraldüngung
Kartoffel	210,4	256,6	308,0
Laub	21,5	27,6	34,0

Der Einfluß der Beigabe der Kunstdünger zum Stallmist tritt deutlich hervor; dabei handelte es sich um einen tiefgründigen Lehmboden, der in jedem Jahr ordnungsmäßig mit Kunstdünger gedüngt worden war. Ich könnte aus unseren Versuchen noch weitere Beispiele über diese Wirkung der Mineraldüngung neben Stalldünger anführen; da sie alle im gleichen Sinne lauten, kann ich hier auf die Wiedergabe der erzielten Ernten verzichten. Schneidewind, Nolte, Lemmermann, Kleeberger u. a. m., haben dasselbe festgestellt, nämlich daß Stallmist allein nicht die möglichen Höchsternten hervorbringt. Auch P. Wagner findet, daß Hackfrüchte ohne Stallmist keine Höchsterträge bringen können; er sieht den Grund dafür darin, daß die Hackfrüchte gerade in der Jugendentwicklung ein besonders großes Bedürfnis für schnell wirksame Phosphorsäure haben und dieses durch Stallmist besser als durch Kunstdünger befriedigt wird. Wenn Hackfrüchte auf einem in guter Kultur und gutem Düngungszustand befindlichen Boden angebaut werden, können sie auch mit Kunstdünger allein, also ohne unmittelbare Zufuhr von Stallmist nach den Versuchen von Wagner Höchsterträge liefern. Im übrigen folgert Wagner aus den Ergebnissen zahlreicher Versuche, daß die Ertragswerte nach Stallmist allein erheblich geringer sind als nach Stallmist und Kunstdünger; er berechnet für Jahr und Hektar folgende Ertragswerte:

	Mittel	Schwankungen
Stallmist	465 Mk.	312—676 Mk.
Stallmist und Kunstdünger (Volldüngung) . . .	618 „	479—796 „

Weitere Versuche Wagners ergaben, daß die Düngung mit Stallmist oder Stallmist und Kunstdünger bei Halmfrüchten auf das Verhältnis von Körnern und Stroh wenig oder gar nicht einwirkt; es kann daher davon abgesehen werden, hierfür Versuchszahlen mitzuteilen.

Die Feststellung, daß bei Hackfrüchten Stallmist im allgemeinen zur Erzielung von Höchsterträgen nicht entbehrt werden kann, schließt nicht aus, daß es Verhältnisse geben kann, in denen ein Teil der Nährstoffe des Stallmistes durch diese Nährstoffe in künstlichen Düngemitteln ersetzt werden kann. Lemmermann hat gefunden, daß dadurch der Ertrag an Kartoffeln nicht geschädigt wird. Auch Mach bestätigt dieses. Hierbei scheiden natürlich alle biologischen Wirkungen, die durch

den Stallmist im Boden herbeigeführt werden, aus und kann es sich nur um die rein ernährende Wirkung der betreffenden Nährstoffe handeln.

Die Jauche ist ein mehr einseitig wirkender Dünger. Das ist ohne weiteres klar, wenn man bedenkt, daß sie im Gegensatz zum Stallmist nicht durch organische Stoffe auf die Bodenbeschaffenheit günstig einwirken kann, daß der Gehalt an Phosphorsäure und Kalk sehr zurücktritt und darin neben Kali vor allem Stickstoff in schnell wirksamer Form vorherrscht. Daraus ergibt sich ohne weiteres, daß bei starker Anwendung der Jauche eine Ergänzung der fehlenden mineralischen Nährstoffe notwendig ist. Wenn letztere fehlt, so werden sich die Folgen bald in einem geringeren Wachstum zeigen. Dieses tritt besonders auf Wiesen und Weiden hervor, auf denen die Bodenbearbeitung fehlt und damit die Umsetzung im Boden sich langsamer vollzieht. Es ist bekannt und durch Versuche von E. Blanck noch besonders bewiesen, daß Harn bezw. Jauche auf die mineralischen Bodenbestandteile lösend wirkt; es werden also hierdurch die der Jauche fehlenden Mineralstoffe zum Teil ersetzt. Aber diese Nährstoffquelle fließt doch je nach der Bodenbeschaffenheit verschieden stark und wird selten den ganzen Bedarf decken, sodaß sie die Zufuhr der fehlenden Nährstoffe durch künstliche Düngemittel nicht unnötig machen kann.

Für die der Jauche ähnlich zusammengesetzte, aus den menschlichen Exkrementen erhaltene Latrine, die durch Abfuhr in Tonnen aus den Städten auf die Felder und Grünlandflächen gebracht oder als Spüljauche auf die Rieselfelder geleitet wird, gilt dasselbe. Das Mißverhältnis der einzelnen Nährstoffe in diesen Abgängen im Verhältnis zu dem Nährstoffbedürfnis der Pflanzen erhellt deutlich aus folgenden Zahlen. Wenn wir den Stickstoffgehalt gleich 100 setzen, so stellen sich nach den Angaben von J. König dazu die übrigen Nährstoffe wie folgt:

	Stickstoff	Phosphorsäure	Kali	Kalk
Mistjauche	100	4	220	12
Spüljauche	100	26	45	120

Wenn man in gleicher Weise das Verhältnis der Nährstoffmengen berechnet, welche je Hektar durch verschiedene Pflanzen dem Boden entzogen werden, so erhält man folgende Zahlen:

Pflanzen	Stickstoff	Phosphorsäure	Kali	Kalk
1. Wiesenheu . . .	100	41	106	56
2. Futterrunkelrüben .	100	34	174	26
3. Winterweizen . . .	100	55	100	26
4. Roggen	100	60	107	28
5. Hafer	100	47	130	32
Im Mittel von 2—5	100	49	128	28

Wenn wir diese letzteren Zahlen mit den für Mistjauche errechneten Zahlen vergleichen, so zeigt sich deutlich, daß durch Mistjauche dem Bedürfnis der Pflanzen für Phosphorsäure und Kalk nicht Rechnung getragen werden kann, daß dagegen der Kalibedarf überreich gedeckt wird. Dieses gilt sowohl für die Wiesenpflanzen wie auch für die Ackerpflanzen. Bei den letzteren sehen wir, daß das Kalibedürfnis der Futterrunkeln sehr groß ist, aber auch noch durch das in der Mistjauche vorhandene Kali gedeckt wird. Bei den Halmfrüchten tritt das Kalibedürfnis zurück, und es findet daher in dem Kaligehalt der Mistjauche volle Deckung. Dabei ist in allen Fällen angenommen, daß alle Nährstoffe in gleichem Verhältnis von den Pflanzen ausgenutzt werden können. Wir haben früher gesehen, daß dieses nicht der Fall ist, vielmehr die Nährstoffe der Jauche von den Pflanzen verschieden ausgenutzt werden, die Wirkung derselben auch entsprechend herabgesetzt werden muß. Geschieht dieses, dann wird das Bedürfnis der Pflanzen für Phosphorsäure und Kalk durch die Mistjauche noch weit weniger gedeckt, als die obigen Zahlen anzeigen, und eine starke Beigabe dieser Nährstoffe unbedingt erforderlich, wenn ein gesundes Wachstum der Pflanzen erreicht werden soll. Aber auch die Notwendigkeit der Kalibeidüngung besonders der Futterrunkelrüben macht sich dann deutlich bemerkbar.

Bei dem Vergleiche der für die Spüljauche errechneten Zahlen im Vergleich zu den Nährstoffzahlen der Pflanzen sehen wir, daß hier neben Phosphorsäure Kali in starkem Maße fehlt, besonders wenn wir auch hier wieder berücksichtigen, daß die Nährstoffe der Spüljauche nicht in vollem Maße ausgenutzt werden können. Dieses gilt für die Wiesen- wie für die Ackerpflanzen. Dem Kalkbedürfnis der Pflanzen wird zwar durch die Spüljauche mehr Genüge geleistet, als durch die Mistjauche, aber die zugeführte Kalkmenge ist doch nicht ausreichend, besonders nicht auf Wiesen, weil der Kalk ja nicht nur als Nährstoff eine Rolle spielt, sondern seine Zufuhr auch wegen der Wirkung des Kalkes auf die physikalische Beschaffenheit des Bodens nötig ist. Die obigen Zahlen beweisen, wie sehr die günstige Wirkung der Mistjauche und der Spüljauche von der Beidüngung mit Phosphorsäure in jedem Falle und der Beidüngung mit Kali bezw. Kalk in den besonderen Fällen nötig ist, wenn eine gesunde Entwicklung der Pflanzen erreicht werden und der Ertrag nicht zurückbleiben soll; mag sich diese nachteilige Wirkung der Jauche da, wo die Beidüngung mit Phosphorsäure, Kali und Kalk unterlassen wird, zunächst auch nicht zeigen, weil der Nährstoffersatz aus dem Bodenvorrat geleistet werden kann, so wird doch, sobald dieser Ausgleich aufhört, die nachteilige Wirkung eintreten und sich außer im Ertrage besonders in der Entwicklung und auf Grasland auch in der Art der Pflanzen zeigen.

i) Geldwert des Stalldüngers

Die Wirkung des Stalldüngers ist je nach seiner Zusammensetzung und sonstigen Beschaffenheit sehr verschieden; weiter sind dabei von Einfluß: Pflanzen, Boden, Witterung, Beidünger usw. Es kann daher nicht auffallen, wenn die auf Grund von Versuchen ausgeführten Berechnungen sehr verschiedene Wertzahlen für den Mehrertrag, der durch die Wirkung des Stalldüngers erzielt worden ist, ergeben haben. Der Wert dieses Mehrertrages wird auch als Geldwert des Stallmistes angesehen, ein Vorgehen, welches nicht ohne Bedenken ist. Besonders Th. Pfeiffer und P. Wagner haben dagegen Stellung genommen. Wie sehr die auf diesem Wege erhaltenen Geldwerte für Stalldünger voneinander abweichen, zeigen folgende Zahlen, die aber nicht unmittelbar vergleichbar sind, weil die in den Versuchsjahren angebauten Pflanzen verschieden gewesen sind. Der Wert des Mehrertrages, der mit 1 dz Stalldünger erzielt wurde, wird angegeben von:

W. Schneidewind	bei niedriger Gabe	mit	2,40 Mk.
„	„ hoher „	„	1,74 „
B. Schulze		„	1,05 „
Th. Remy		„	1,03 „
P. Wagner		„	0,89 „

Wenn zu der Stallmistdüngung noch eine volle oder teilweise Mineraldüngung (in der ein Nährstoff fehlt) gegeben wird, so tritt die Wirkung des Stallmistes zurück. Der gleiche Einfluß auf die Ausnutzung der Nährstoffe im Stalldünger wird von den im Boden vorhandenen Nährstoffen, die für die Ernährung der Pflanzen nutzbar sind, ausgeübt. Wenn z. B. ein Boden reich an löslicher Phosphorsäure ist, die von den Pflanzen aufgenommen werden kann, so wird die Phosphorsäure des Stallmistes nicht voll zur Wirkung kommen. Oder hat eine Pflanze eine besondere Ausnutzungskraft für einen Nährstoff wie z. B. die Kartoffel für die Stallmistphosphorsäure, so wird hier die bessere Verwertung dieses Nährstoffes im Ertrage zum Ausdruck kommen. Darin liegen besondere Schwierigkeiten für die Geldwertberechnung des Stallmistes. Wenn ich hierauf aufmerksam gemacht habe, so kann die Mitteilung der von B. Schulze ermittelten Mittelzahlen zu keiner unrichtigen Einschätzung dieser Zahlen Anlaß geben. Ich führe diese Zahlen vor allem auch deshalb als Beispiel an, weil Schulze die mittleren Werte der Geldwertleistung des Stalldüngers in 4 Jahren auf Grund seiner Versuche berechnet und dabei den Einfluß der Beigabe von Mineraldünger, teils als Volldüngung, teils bei Fehlen eines Nährstoffes, geprüft hat. Die angegebenen Zahlen sind folgende (Tabelle S. 84).

	Ohne Mineraldüngung	Bei voller Mineraldüngung	bei Mineraldüngung ohne		
			Stickstoff	Phosphorsäure	Kali
	Mk.	Mk.	Mk.	Mk.	Mk.
1. Mittlerer Geldwert für 1 dz Stallmist . . .	1,05	0,64	0,80	0,69	0,86
2. Mittlerer Verlauf der Geldwertleistung	%	%	%	%	%
1. Versuchsjahr	52,8	65,8	55,4	65,3	60,4
2. „	18,8	8,4	18,0	12,6	10,8
3. „	15,7	15,6	12,9	9,8	12,4
4. „	12,7	10,2	13,7	12,3	16,4

Diese Zahlen bestätigen die früheren Ausführungen im allgemeinen und zeigen den Einfluß der Beigabe von Mineraldünger auf die Auswertung des Stalldüngers. Wir sehen, daß der Ausfall des Stickstoffs oder des Kalis in der Mineraldüngung eine bessere Verwertung des Stickstoffs und Kalis in dem Stalldünger zur Folge gehabt hat, daß diese Nährstoffe also auch der Boden nicht in ausreichender Menge hat liefern können. Es muß Wagner beigepflichtet werden, daß in dieser Weise wohl die Wirkung der einzelnen Nährstoffe festgestellt werden kann, daß es aber nicht zulässig ist, den daraus errechneten Mittelwert als Wirkungswert aller Stallmistbestandteile anzusehen.

Zur Feststellung des Geldwertes des Stalldüngers im Vergleich zum Preise des Handelsdüngers geht Wagner von dem Werte der einzelnen Nährstoffe aus, wie sich dieser aus den Versuchen ergeben hat. Dabei wurde die Ausnutzung des Stallmiststickstoffs mit 25% erkannt. Da Salpeterstickstoff zu 60% ausgenutzt wird, so errechnet sich der Wert des Stallmiststickstoffs zu 42% des Wertes des Salpeterstickstoffs. Diese Wertzahl erhöht Wagner mit Rücksicht auf die Wirkung anderer Bestandteile des Stallmistes, besonders der humusbildenden Stoffe auf 50%, sodaß für den Stallmiststickstoff der halbe Preis des Salpeterstickstoffs in Rechnung zu stellen ist. Wegen der schnelleren Wirkung der Stallmistphosphorsäure schätzt Wagner den Wert dieser Phosphorsäure um die Hälfte höher ein, als die zitronensäurelösliche Phosphorsäure des Thomasmehles, so daß der Preis der Stallmistphosphorsäure das $1^1/_2$fache des Preises der zitronensäurelöslichen Phosphorsäure des Thomasmehles ausmacht. Das Kali des Stallmistes ist in der Wirkung dem Kali der Kalisalze gleich; deshalb sind die Preise beider gleichzusetzen. In dieser Weise läßt sich der Düngewert der Nährstoffe in 1 dz Stallmist nach den geltenden Handelsdüngerpreisen berechnen. Nun folgert Wagner weiter, daß, da nach den ausgeführten Versuchen durch Aufwendung von 100 Mk. für Handelsdünger ein Mehrertrag von 190 Mk erzeugt wurde, auch von Stallmist

im Werte von 100Mk., in der angegebenen Weise berechnet, dieser Mehrertrag erzeugt werden muß, und erhöht in diesem Verhältnis den berechneten Düngewert, um den Gesamtwirkungswert des Stallmistes zu finden, wie er sich ergibt, wenn der Stallmist durch Mineraldüngung derartig ergänzt wird, daß die Nährstoffe des Stallmistes voll ausgenutzt werden.

Der in dieser Weise berechnete Wert kann nicht als allgemein gültig angesehen werden, allein schon deshalb nicht, weil der Mehrertrag, welcher durch 100 Mk. Düngerwert erzeugt wurde, und die Grundlage für die Berechnung des Gesamtwirkungswertes bildet, keine feststehende Größe ist, sondern sich je nach den besonderen Versuchsverhältnissen ändern kann. Immerhin ist der Weg, den uns Wagner hier gezeigt hat, ein solcher, auf dem wir zu Werten kommen, die einen Vergleich ermöglichen, die aber auch eine gute Grundlage für eine zutreffende Abschätzung des Wertes des Stallmistes geben können.

3. Die Exkremente der Menschen

Außer den tierischen Exkrementen bieten uns in gleicher Weise die menschlichen Exkremente eine nutzbare Nährstoffquelle für unsere Pflanzen. J. H. Vogel nimmt unter Berücksichtigung der vorliegenden Untersuchungen an, daß die menschlichen Absonderungen je Person und Jahr 48,5 kg Kot und 438 kg Harn betragen. Bei folgender Zusammensetzung von Kot und Harn:

	Kot %	Harn %
Wasser	77,20	95,50
Organische Stoffe	19,60	3,30
Mineralstoffe	3,20	1,20
Stickstoff	1,30	0,80
Phosphorsäure	1,16	0,16
Kali	0,40	0,19
Kalk	0,62	0,02

ergeben sich daraus für eine Person im Jahr in den Exkrementen:

	Kot kg	Harn kg	zusammen kg
Im ganzen	48,50	438,00	486,50
davon: Wasser	37,40	418,30	455,70
Trockensubstanz	11,10	19,70	30,80
Organische Stoffe	9,50	14,50	24,00
Mineralstoffe	1,60	5,20	6,80
Stickstoff	0,62	3,50	4,12
Phosphorsäure	0,55	0,69	1,24
Kali	0,18	0,84	1,02
Kalk	0,29	0,08	0,37

Für die Zusammensetzung, Beschaffenheit und Zersetzung des menschlichen Kotes und Harns gilt im allgemeinen dasselbe, was von den tierischen Ausscheidungen gesagt worden ist. Die Stickstoffverbindungen des Kotes sind auch hier durchweg in schwerlöslicher Form, der Harnstickstoff in der Hauptsache als Harnstoff und zum geringen Teil als Hippursäure vorhanden. Für die Phosphorsäure-, Kali- und Kalkverbindungen in Kot und Harn gilt das bereits früher Gesagte.

Die Ansammlung dieser menschlichen Ausscheidungen erfolgt nicht gleichmäßig, vielmehr geht ein großer Teil derselben verloren. Dieser Anteil läßt sich nicht einmal schätzungsweise einigermaßen zuverlässig angeben. Je nach der Art der Aufbewahrung oder Verwendung wird die Auswertung sehr verschieden sein. Es ist nicht möglich, an dieser Stelle auf alle Verfahren auch nur allgemein einzugehen; ich will mich auf drei Verfahren beschränken und zwar auf das Grubensystem, das Kübelverfahren und die Schwemmkanalisation, so weit es sich hierbei um die Verwendung der Abgänge zur Berieselung handelt, weil diese Verfahren das Grundsätzliche in der landwirtschaftlichen Nutzung der menschlichen Exkremente klarlegen.

Bei dem Grubensystem ist immer damit zu rechnen, daß ein mehr oder weniger großer Teil der flüssigen Exkremente in den Untergrund versickert oder der Stickstoff in Gasform verloren geht. J. H. Vogel gibt an, daß in Stuttgart bei mustergiltiger Anlage 47% des Stickstoffs der Absonderungen nicht mit zur Abfuhr gelangt seien und bei mangelhafter Abfuhr mit einem Verluste bis zu 70% des Stickstoffs gerechnet werden konnte. Die Zusammensetzung des Grubeninhalts schwankt daher in verschiedenen Orten erklärlicherweise sehr.

Durch die Ansammlung der Absonderungen in einer wasserdichten Tonne nach dem sogenannten Tonnensystem wird ein Versickern der flüssigen Absonderungen vermieden und auch ein Verlust an Stickstoff hintangehalten. Im Durchschnitt betragen die in dieser Weise angesammelten Absonderungen je Kopf und Jahr 180 kg. Die mit diesem Verfahren immer noch verbundenen Schwierigkeiten insbesondere in hygienischer Hinsicht werden durch die Vermengung der Absonderungen mit Torfmull, die auf mechanischem Wege zu erreichen ist, in erheblichem Grade herabgedrückt. Der damit erhaltene Dünger ist gut wirksam.

Wenn keine Verdünnung der Exkremente mit Wasser stattgefunden hat, so können diese eingedampft werden und wird dabei durch Zusatz von Schwefelsäure ein Verlust an Stickstoff vermieden. Das dabei erhaltene Erzeugnis, die sogenannte Poudrette, ist frei von Bakterienkeimen; die Zusammensetzung ist je nach dem Fabrikationsverfahren verschieden.

Die Zusammensetzung dieser Absonderungen ist nach den Angaben von J. H. Vogel im wasserhaltigen Zustande im Durchschnitt folgende:

Herkunft der Abgänge	Wasser %	Gesamt-Stickstoff %	Ammoniak-stickstoff %	Phosphorsäure %	Kali %
1. Aus Gruben	96,35	0,367	0,107	0,158	0,152
2. Aus Tonnen	92,31	0,750	0,426	0,266	0,285
3. Aus Tonnen mit Torfzusatz	82,61	0,690	0,260	0,330	0,280
4. Poudrette	7,84	7,700	3,970	2,610	2,590

Diese Zahlen sind nicht unmittelbar vergleichbar, weil das ursprüngliche Material nicht dasselbe gewesen, was besonders bei den Untersuchungen unter 2 und 3 zu beachten ist; sie werden als Anhalt für die Beurteilung des großen Wertes angegeben, der in diesen Abgängen für Düngezwecke steckt.

Bei der Schwemmkanalisation handelt es sich nicht nur um die Entfernung der menschlichen Absonderungen, sondern auch um die gleichzeitige Ableitung aller sonstigen flüssigen Abfallstoffe aus Haus, Wirtschaft und sonstigem Betrieb; es ist daher hierbei immer mit einer mehr oder weniger starken Verdünnung der Fäkalien zu rechnen. Um einen Anhalt für die Zusammensetzung derartiger jauchehaltigen Abwässer zu geben, lasse ich hier Zahlen folgen, die J. König berechnet hat. In 1 Liter Abwasser sind enthalten in mg:

Abwasser	Schwebestoffe			Gelöste Stoffe					
	Anorganisch	Organisch	Stickstoff	Anorganisch	Organisch	Gesamtstickstoff	Ammoniakstickstoff	Phosphorsäure	Kali
mit Fäkalien . . .	445,5	271,2	41,6	796,8	364,7	91,3	66,9	25,6	89,5
ohne „ . . .	345,8	263,7	28,9	662,2	313,1	56,9	40,5	24,0	80,0

Die Menge der Spüljauche ist ebenso wechselnd wie ihre Zusammensetzung; man kann sie nach J. König im Durchschnitt auf 180 Liter je Tag und Kopf schätzen.

4. Kompost

Der Kompost ist kein einheitlicher Dünger. Er wird im allgemeinen auch weniger wegen seines Gehaltes an Pflanzennährstoffen, sondern hauptsächlich wegen seiner günstigen Wirkung auf die biologische Beschaffenheit des Bodens geschätzt; er ist aus dem letzten Grunde unersetzlich, weil er das Vorkommen und die Entwicklung der Bakterien und damit alle Zersetzungen im Boden fördert und so das beste Ergänzungsmittel des Stallmistes bildet. Zur Gewinnung des Kompostes

werden pflanzliche und tierische Abfälle jeder Art aus Haus und Hof, Garten und Feld, aus gewerblichen Betrieben u. dergl. m. gesammelt, mit Erde, Schlick, Grabenaushub, Kehricht, Asche unter Zusatz von etwas Kalk, gelagert, gelegentlich mit Jauche und Abortstoffen durchsetzt. Diese zusammengelegten Abfälle erleiden bei der Lagerung eine Verrottung und bilden schließlich eine mürbe, gut verteilbare Masse, welche besonders reich an Kleinlebewesen ist. Die Verrottung wird dadurch gefördert, daß der Komposthaufen mehrmals im Jahr umgestochen wird. Von der Kompostbereitung sind alle Pflanzen, welche mit Krankheitskeimen behaftet sind, Unkrautsamen und alle Stoffe, die für das Wachstum der Pflanzen nachteilig werden können, auszuschließen.

Die Zusammensetzung des Kompostes ist je nach der Beschaffenheit der zur Herstellung verwendeten Abfälle sehr schwankend, sodaß die Angabe eines halbwegs zutreffenden Durchschnittsgehaltes an Pflanzennährstoffen nicht möglich ist. Die Verwendung des Kompostes entspricht derjenigen des Stalldüngers, jedoch ist der Kompost besonders für Gärten, Wiesen und Weiden geeignet.

Die Wertschätzung des Kompostes in der Landwirtschaft hat dazu geführt, daß Fabrikaten, die in der Gewinnung oder Wirkung mit Kompost wenig oder nichts zu tun haben, eine Bezeichnung gegeben wird, denen das Wort „Kompost“ angefügt ist, um so die Einführung des Fabrikates bei den Landwirten zu erleichtern. Besonders gern wird in dieser Weise mit den bei der Abwasserreinigung erhaltenen Abfällen, Klärbeckenschlamm usw. verfahren. Zum Teil werden diese Abfälle auch als Poudrette, Guano und ähnlich bezeichnet. Ist mit einer Beimischung von Fäkalien zu rechnen oder auch ohne eine solche unmittelbare Beimischung nur mit Rücksicht darauf, daß sie Abwässer enthalten haben, so wird eine Bezeichnung gewählt, die auf dieses Vorhandensein von Fäkalien hinweist, weil der Düngewert der Fäkalien an sich bekannt ist. Im allgemeinen haben wir es bei diesen Fabrikaten mit Gemischen zu tun, die nur einen geringen Gehalt an Pflanzennährstoffen haben. Der Preis steht mit diesem geringen Nährstoffgehalt meistens nicht im Einklang, vielmehr ist der tatsächliche Wert meistens durch die Abfuhrkosten abgegolten. Darum wäre es besser, wenn für diese Fabrikate Benennungen gewählt würden, die die Gewinnung und Zusammensetzung erkennen lassen, in denen aber die Worte: „Kompost, Fäkalien, Guano, Poudrette“, Bezeichnungen, welche ein als besonders wertvoll geschätztes Düngemittel erwarten lassen, fehlen. Als Beispiele für solche Fabrikate führe ich an: Frankfurter Fäkalguano, Kasseler Poudrette, welche beiden Dünger aus getrocknetem Klärschlamm bestehen; ähnlicher Herkunft sind Fäkalin, Emscher Kloakoano. Als Fäkalkompost oder Kanalfäkalkompost werden Gemische von städtischen Abwässern bezw. Klärbeckenschlamm mit Torf bezeichnet. Als Nitraginkompost

wird ein Gemisch aus organischen Abfällen mit Torf und Kalk unter Zusatz von Bakterienkulturen bezeichnet, die auf eine Anreicherung des Düngers mit Stickstoff hinwirken sollen; ein besonderer Erfolg dieses Nitraginkompostes im Vergleich mit gewöhnlichem Kompost ist nicht zu verzeichnen gewesen.

Die Versuche, Torf durch Behandeln mit Ätzalkalien so aufzuschließen, daß die organischen Stoffe leichter zersetzlich werden und im Boden Humus geben, haben bisher noch zu keinem abschließenden Ergebnis geführt, auch nicht, soweit es sich um den Zusatz besonderer Stoffe gehandelt hat. Hierhin gehören die nach dem Vorschlag von v. Hammerschlag hergestellte Humuskieselsäure, welche besonders für die Tabakdüngung empfohlen wurde, die von H. S. Gerdes und L. Hiltner hergestellten Humuspräparate. Die Versuche mit diesen Fabrikaten haben nicht zu solchen Erfolgen geführt, daß zur allgemeinen Herstellung geschritten wäre. Unsere Versuche mit den von Gerdes hergestellten Humuspräparaten führten zu dem Schluß, daß diese Präparate zwar entsprechend dem Stickstoffgehalt eine Düngewirkung äußern, daß dabei aber die organischen humusbildenden Substanzen dieser sogen. Humusdünger keine entscheidende Rolle spielen und zu erwarten ist, daß die gleiche Wirkung im wesentlichen auch ohne diese Humussubstanzen erzielt wird. Ob die Humuspräparate auf die Ausnutzung des Bodenstickstoffs fördernd einwirken, muß dahingestellt bleiben, da die Ergebnisse in dieser Richtung nicht eindeutig sind. Gegen die Brauchbarkeit der Humuspräparate als Düngemittel spricht, daß die Zersetzung der organischen Stoffe durch die begleitenden Salze beeinträchtigt wird. Dazu kommt der geringe Nährstoffgehalt der Humuspräparate, durch den die Anwendung derselben an sich in der Praxis erschwert wird; jedenfalls kann aus diesem Grunde wegen der erhöhten Nebenkosten der Anwendung, denen kein anderweitiger Vorzug, insbesondere nicht in der Wirkung gegenübersteht, für die Nährstoffe in diesen Humusdüngern nicht derselbe Preis gezahlt werden, wie in den sonst üblichen Düngemitteln, vielmehr muß der Preis mindestens um die vermehrten Nebenkosten geringer sein. Damit dürfte die Rentabilität der Herstellung dieser Humusdünger in Frage gestellt sein. Alles in allem wird man deshalb nach diesen Versuchsergebnissen nicht annehmen können, daß durch diese Humusdünger der Düngermarkt eine wertvolle Bereicherung erfährt.

Neuerdings hat Rippert in ähnlicher Weise ein als Humunit bezeichnetes Mittel hergestellt, welches im Boden ähnlich wie gut verrotteter Kompost, aber sicherer und energischer wirken soll. Der Aufschluß des Torfes soll durch Alkalien und Sauerstoff geschehen und nachher ein Zusatz von Hefen erfolgen. Bevor dieser Humunit als Ersatz für Kompost oder Stallmist in Frage kommen kann,

ist eine genaue Prüfung nötig, damit vor allem festgestellt wird, ob die Zersetzungsfähigkeit der organischen Stoffe hier eine bessere als bei den früher hergestellten Humuspräparaten ist. Der Gehalt des Humunits an Pflanzennährstoffen ist nur gering; bei 52,38% Wasser wurden nur 0,965% Stickstoff in organischer Form, 5,485% Kalk, 0,298% Phosphorsäure und 0,094% Kali gefunden.

Im allgemeinen wird man diese Ersatzmittel für Stallmist und Kompost mit großer Zurückhaltung beurteilen müssen; sie bieten uns besonders auch nicht als Humusbildner im Boden einen vollwertigen Ersatz für Stallmist und Kompost. Die unmittelbar wirkenden Pflanzennährstoffe sind in den bekannten Düngemitteln billiger als in diesen Ersatzstoffen zu beschaffen.

5. Die Ernterückstände

Die bei der Ernte im Boden verbleibenden Stoppelreste und Wurzeln bezw. bei den Hackfrüchten die Blätter und das Kartoffelkraut können besonders durch ihre organischen Stoffe auf die Bodenbeschaffenheit günstig wirken. Der Gehalt an Pflanzennährstoffen ist sehr schwankend; Bodenart, Düngung und alle das Wachstum der Pflanzen beeinflussende Faktoren werden hierbei mitwirken. Aber selbst wenn man dieses alles in Rechnung stellt, wird man dennoch die von Weiske hierfür angeführten Zahlen, die fast stets als Anhalt für die in den Ernterückständen vorhandenen Nährstoffe angeführt werden, recht hoch finden; sie werden auch nicht durch andere Untersuchungen bestätigt. Auch die Ergebnise eigener Untersuchungen lauten selbst da anders, wo stark gedüngt worden war. Ich sehe deshalb von einer Wiedergabe der von Weiske mitgeteilten Zahlen ab. Weitere Untersuchungszahlen gibt F. Löhnis an, ferner E. Wollny. Wenn auch die in den Ernterückständen vorhandenen Nährstoffmengen nicht groß sind und dabei ihr Wert noch zum Teil durch eine schwerere Zersetzlichkeit in der Düngerwirkung beschränkt ist, so bieten sie doch eine ständig fließende Nahrungsquelle für die Pflanzen und dürfen deshalb nicht unberücksichtigt bleiben.

Wir haben gefunden berechnet auf 1 ha in kg:

	Ertrag		Organische Stoffe	Stickstoff	Kalk	Magnesia	Kali	Phosphorsäure
	frisch	trocken						
Wurzel von Rotklee . .	3700	1375	1292,0	37,35	6,00	3,85	38,12	11,54
„ „ Serradella . .	865	278	233,8	5,39	3,72	1,56	5,98	1,84
„ „ Erbsen . . .	215	143	116,3	3,03	2,99	0,96	1,40	0,73
Laub von Futterrunkeln .	13280	1460	109,5	32,12	43,80	29,20	51,10	10,29
Kraut von Kartoffeln . .	3090	717	601,8	17,85	25,53	11,04	27,46	4,08

Die geringe Menge der Erbsenwurzeln ist wohl darauf zurückzuführen, daß die Feststellung erst bei Vollreife erfolgte und trotz aller Vorsicht doch nicht das ganze Wurzelnetz bei der Ernte erfaßt worden ist.

Auch B. Schulze, der sich in besonders eingehender Weise mit Untersuchungen über die Bevorzugung verschiedener Pflanzen befaßt hat, kommt zu niedrigeren Werten als Weiske. Da diese Untersuchungen Schulzes sich auf eine größere Zahl erstreckt haben und daher eine ausgedehntere Grundlage für die Beurteilung des Düngerwertes der Ernterückstände geben, so mögen die Ergebnisse hier kurz angeführt werden. Bei Getreide stellte Schulze den Ertrag an lufttrockener Substanz fest und berechnete aus dem Verhältnis der oberirdischen Substanz zu den Wurzeln, das er durch besondere Untersuchungen ermittelt hatte, die Wurzelmenge; mit Hilfe von Mittelzahlen für den Stickstoffgehalt der Wurzel- und Stoppelreste wurden die in diesen Resten enthaltenen Stickstoffmengen berechnet. Bei Rotklee wurde in gleicher Weise verfahren. Bei Ackerbohnen, Erbsen und Lupinen wurden die von 1000 Pflanzen im Boden verbleibenden Strünke und Wurzeln festgestellt, darin der Stickstoff bestimmt, die Zahl der auf 1 ha gewachsenen Pflanzen ermittelt und daraus die Menge der Erntereste und der darin enthaltene Stickstoff je ha berechnet. Die aus Ernterückständen erhaltenen Werte waren folgende je ha:

Pflanze	Ernterückstand kg	Stickstoff kg
Winterroggen	1986[1])	15,9
Winterweizen	2027[2])	16,2
Hafer	2110[3])	16,9
Gerste	1338[4])	10,7
Sommerroggen	2121	17,0
Sommerweizen	1332	10,7
Ackerbohnen	3540	63,0
Rotklee, 14 Tage nach dem 2. Schnitt	2012	45,9
Rotklee, nach ungehindertem Wachstum bis Mitte November im 2. Jahr	6452	176,8
Viktoriaerbse	1029	17,4
Gelbe Lupine	2085	30,0
Weiße Lupine	1860	23,4

Wenn man berücksichtigt, daß es sich hier um schwer lösliche organische Stickstoffverbindungen handelt, so wird man den Düngewert des Stickstoffs nicht zu hoch anschlagen dürfen; dabei ist aber zu beachten, daß diese Mengen Jahr für Jahr im Boden bleiben, sodaß eine gewisse Anhäufung im Boden stattfindet und damit eine, wenn auch langsam, so doch ständig fließende Stickstoffquelle geschaffen ist. Be-

Davon Wurzel bei: [1]) 739 kg, [2]) 1102 kg, [3]) 1210 kg, [4]) 636 kg.

merkenswert ist der große Unterschied im Stickstoffgehalt der Gramineen- und Leguminosenwurzeln, obwohl die Menge der Ernterückstände nicht wesentlich verschieden ist; dabei muß der eine Rotklee, der bis zum Ende des 2. Jahres ungehindert gewachsen ist, als Ausnahme gelten. Auch in diesen Zahlen zeigt sich wie bei unseren Untersuchungen das starke Zurückbleiben der Erbsen sowohl in der Menge der Ernterückstände wie des Stickstoffs. Die durch unsere Untersuchungen festgestellten Pflanzennährstoffe in dem Runkelrübenlaub und in dem Kartoffelkraut sind in Übereinstimmung mit den Untersuchungen von Wollny nicht unerheblich.

6. Gründüngung

Die Gründüngung, d. h. die Düngung mit untergepflügten grünen Pflanzen, ist schon im Altertum bekannt gewesen, aber wieder vergessen worden; sie hat erst wieder eine praktische Bedeutung gewonnen, als Schulz-Lupitz ihren Wert, insbesondere die günstige Wirkung der untergepflügten Leguminosen auf die Bodenbeschaffenheit und die Bodenerträge feststellte. Aber erst H. Hellriegel gab uns die wissenschaftliche Erklärung für diese günstige Wirkung und ermöglichte dadurch die allgemeinere Anwendung der Leguminosen zur Gründüngung; ihm ist es daher in erster Linie zu verdanken, daß wir heute in der Gründüngung ein sicheres Mittel für die Erhaltung der Kulturfähigkeit unserer Böden und für die Hebung unserer Ernteerträge sehen. Diese Sicherstellung der von Schulz-Lupitz gemachten praktischen Erfahrung durch die wissenschaftlichen Forschungen Hellriegels zeigt uns recht deutlich, wie sehr Wissenschaft und Praxis in ihrem Wirken und Schaffen aufeinander angewiesen sind. Die nachfolgenden Forschungen von M. W. Beijerinck u. a. m., ferner besonders von Nobbe und Hiltner, die zur Herstellung des Impfstoffes Nitragin führten und dadurch die Ausdehnung des Anbaues stickstoffsammelnder Leguminosen auch auf Böden ermöglichten, welche bisher hierfür versagt hatten, zeigen noch mehr, wie sehr sich Wissen und Können im landwirtschaftlichen Betriebe ergänzen und stützen. Die wissenschaftliche Grundlage der Gründüngung, welche in der Tätigkeit der Wurzelknöllchenbakterien und damit in der Stickstoffanreicherung des Bodens durch die zur Gründüngung verwendeten Leguminosen gegeben ist, wurde bereits früher (Bd. I, S. 179) klar gelegt und kann hier auf diese Mitteilungen verwiesen werden. Hier kommt es in der Hauptsache darauf an, die Ausnutzung dieser Forschungsergebnisse klar zu legen.

Durch die Gründüngung sollen dem Boden organische Stoffe zugeführt werden, welche ebenso, wie es durch Stallmist geschieht, zur Humusbildung dienen und zur Besserung der physikalischen Beschaffenheit, der Wärme- und Feuchtigkeitsverhältnisse, der biologischen Eigen-

schaften des Bodens u. s. f. beitragen, kurzum die Gründüngung soll den Stallmist ersetzen und da ergänzen, wo daran Mangel ist. Der Stalldünger wirkt aber nicht allein durch seine organischen Stoffe, sondern auch durch die in ihm enthaltenen Pflanzennährstoffe, besonders durch den Stickstoff. Wenn daher die Gründüngung den Stallmist ergänzen oder ersetzen soll, so muß durch sie dem Boden auch direkte Pflanzennahrung zugeführt werden. Hieraus ergibt sich von selbst die weitere Forderung, in erster Linie solche Pflanzen zur Gründüngung zu verwenden, welche dem Boden neben organischen Stoffen auch Pflanzennährstoffe, vor allem Stickstoff in größerer Menge zuführen, und da sind diejenigen Pflanzen zu bevorzugen, welche ihren Stickstoffbedarf selbst aus dem freien Stickstoff der Luft decken können, also ohne besonderen Kostenaufwand zur Stickstoffbereicherung des Bodens beitragen; das sind die Leguminosen. Wenn auch A. v. Caron, L. Hiltner u. a. durch ihre Untersuchungen darauf hingewiesen haben, daß ebenso wie die Leguminosen, wenn auch nicht in demselben Grade, andere Pflanzen sich dem freien Stickstoff der Luft gegenüber nicht indifferent verhalten, so sind hier doch noch weitergehende Versuche zur Aufklärung nötig, bevor wir diese Pflanzen auch in dieser Hinsicht als Gründüngungspflanzen richtig einschätzen können. Wer diese Pflanzen, also in der Hauptsache Senf, Raps, Spörgel, Buchweizen, zur Gründüngung verwendet, kann heute zunächst nur damit rechnen, daß er durch diese Pflanzen ein Auswaschen der Nährstoffe in den Untergrund verhindert und dem Boden humusbildende organische Stoffe zuführt, dadurch aber nicht eine Stickstoffanreicherung aus dem Vorrat der atmosphärischen Luft an freiem Stickstoff erreicht.

Es muß zunächst geprüft werden, welche Mengen an organischer Substanz und an Nährstoffen dem Boden durch eine Gründüngung im Vergleich mit einer Stallmistdüngung zugeführt werden können. Ich führe dafür die nachfolgenden Zahlen aus unseren Versuchsergebnissen an; sie sind Durchschnittsergebnisse mehrerer Versuche und geben die Mengen für 1 ha in kg an.

	Stallmist	Gründüngung mit		
		Serradella	Erbsen und Wicken	Rotklee
Gegeben bezw. geerntet: . .	20000	18010	22049	23880
darin sind enthalten:				
Organische Substanz	4298,0	2778,9	4954,6	3374,2
Stickstoff	103,9	85,5	104,9	109,1
Kalk	66,8	98,9	77,8	123,8
Magnesia	26,8	12,9	23,0	27,6
Kali	82,8	93,5	78,2	120,5
Phosphorsäure	30,8	31,9	21,9	23,1

Diese Zahlen lassen in Übereinstimmung mit anderen Versuchsergebnissen, z. B. von Schneidewind und Meyer den Wert der Gründüngung im Vergleich mit Stallmist erkennen. Bei unseren Versuchen bleibt die Menge der zersetzungsfähigen, humusbildenden organischen Stoffe bei Serradella und Rotklee hinter der im Stallmist vorhandenen Menge dieser Stoffe nur wenig zurück. In den Erbsen-Wickengemengen sind diese Stoffe in größerer Menge vorhanden; da aber diese organischen Stoffe rohfaserreicher und daher schwerer zersetzlich sind, so wird ihre Wirkung nicht der größeren Menge entsprechend höher sein, sondern etwas zurückbleiben. Ein Maß für den Grad der Zersetzung haben wir in der Menge der hierbei gebildeten Kohlensäure. Wir haben hierüber Versuche in der Weise ausgeführt, daß wir die grünen Pflanzen wie auch den Stallmist gleichmäßig in einen Boden brachten, der sich in kleinen, nach den Seiten bis auf 1 m Tiefe abgeschlossenen Parzellen von 1 qm Oberfläche befand und nachher zu verschiedenen Zeiten die im Boden gebildete Kohlensäure aus dem Boden in 25 cm Tiefe absaugten; dabei wurde an Kohlensäure in mg gemessen:

Versuchsdauer	Ohne organische Düngung	Düngung mit			
		Stallmist	Serradella	Erbsen u. Wicken	Rotklee
Im 1. Versuchsjahr	33,40	66,82	50,00	38,90	49,50
In drei Versuchsjahren	138,51	179,74	195,61	179,96	168,85

Diese Versuchsergebnisse sind insofern besonders interessant, als sie deutlich das Zurückbleiben der Zersetzung der organischen Stoffe des Erbsen-Wickengemenges im ersten Jahre gegenüber den übrigen Gründüngungspflanzen und dem Stallmist anzeigen, jedenfalls eine Folge der stärkeren Verholzung. Serradella und Rotklee kommen dem Stallmist näher. Im Laufe der beiden nächsten Jahre verschwindet der Unterschied und überholt Serradella sogar den Stallmist. Diese Zahlen lassen deutlich erkennen, wie sehr die Wirkung der Gründüngung von der Entwicklung der Gründüngungspflanzen abhängig ist; je jünger und je weniger verholzt die Pflanzen sind, desto schneller und günstiger ist ihre Zersetzung und Wirkung. Dieses Ergebnis deckt sich auch mit anderweitigen Feststellungen, wonach Bodenbakterien ihren Kohlenstoffbedarf besonders gut aus jungen Pflanzen decken können; so sagt J. Stoklasa: „Je älter die Pflanzenmaterie, desto mehr Lignozellulosen sind in ihr enthalten und desto weniger eignet sie sich als Nährstoffmaterial zum Aufbau der lebenden Substanz des Azotobakters. Die grüne Materie, Wurzelreste beziehungsweise auch Stroh, enthalten Stoffe, die sich leicht hydrolysieren und in solche Formen übergehen, die ein ausgezeichnetes Respirationsmaterial abgeben.“ Aus seinen Feststellungen

schließt Stoklasa weiter, „daß dort, wo es sich um die rasche Hebung der vitalen Lebensprozesse der Bodenmikroorganismen handelt, die durch eine schnelle Vorbereitung der assimilationsfähigen Nährstoffe für die Kulturpflanzen erzielt werden soll, die wirksamste Kohlenstoffquelle die grüne Pflanzenmaterie, namentlich der Leguminosen, also die Gründüngung ist“ und weiter: „Die energetische Tätigkeit der Bodenmikroorganismen kann sich, wie ersichtlich ist, neben Stalldünger nur durch Gründüngung erhöhen. Durch intensive Respirationstätigkeit der Bodenmikroorganismen steigt vor allem die Temperatur des Bodens, durch Freiwerden des in Gasform entweichenden Kohlendioxyds wird der Boden ungemein locker, das Wasser nimmt Kohlendioxyd auf und wirkt auf die Zersetzung der in Wasser unlöslichen Phosphate, Silikate und schließt diese auf. Das nicht absorbierte Kohlendioxyd entweicht aus dem Boden in die Atmosphäre“. Diese Ausführungen Stoklasas bestätigen im allgemeinen meine Darlegungen über den Wert und die Zersetzbarkeit der organischen Substanzen der Gründüngungspflanzen, sodaß sie als Ergänzung meiner Angaben dienen können.

Auch auf die Stickstoffwirkung der Gründüngung übt der Grad der Entwicklung der Gründüngungspflanzen einen großen Einfluß aus. Schon früher haben Märcker und Lemmermann gezeigt, daß der Abbau der Stickstoffverbindungen in den Gründüngungspflanzen sich mit dem Alter der Pflanzen verlangsamt und die Löslichkeit bezw. Wirksamkeit des Stickstoffs zurückgeht. Diese Tatsache ist bei einem Vergleich der Wirkungen verschiedener Gründüngungspflanzen sehr zu beachten, da dadurch manche Abweichungen aufgeklärt werden können. Berücksichtigt man weiter, daß, je schneller sich die Umsetzungen der organischen Gründüngungsmassen im Boden vollziehen, desto größer auch die Gefahr ist, daß die gelösten Stoffe verloren gehen, so wird es in den meisten Fällen nicht schwer sein, für beobachtete Abweichungen eine richtige Erklärung zu geben. Wenn z. B. Schulz-Lupitz bei Lupinen eine Ausnutzung des Stickstoffs zu 70%, Märcker bei Esparsette zu 80%, dagegen im anderen Falle nur zu 16%, bei Luzerne einmal zu 54%, ein anderes Mal zu 27% findet, so wird hierbei der verschiedene Entwicklungszustand der Pflanzen einen erheblichen Einfluß ausgeübt haben. Bäßler findet nur 20—40% des Gründüngungsstickstoffs in der Ernte wieder. Lemmermann stellt bei Anwendung von Lupinen und Serradella als Gründüngungspflanzen eine Wirkung des Stickstoffs von 45%, des Stallmiststickstoffs von 22% der Wirkung des Salpeterstickstoffs fest. Bemerkenswert ist, daß Schneidewind und Meyer auf dem Lößlehmboden in Lauchstädt eine wesentlich bessere Ausnutzung des Gründüngungsstickstoffs feststellen, als auf dem leichten Sandboden in Groß-Lübars, was durch Stickstoffverluste durch Auswaschen in dem letzteren Boden zu erklären sein dürfte. Bei unseren

Versuchen, bei denen Möhren als Versuchsfrucht angebaut wurden, waren in der erstjährigen Ernte enthalten von dem Stickstoff der Serradella 43,2%, des Rotklees 29,8%, des Erbsen-Wickengemenges 20,6% und des Stallmistes 28,6%. Nur die Ausnutzung des Stickstoffs im Rotklee bleibt gegen die sonst gewonnenen Durchschnittszahlen zurück, da diese in junger, noch nicht verholzter grüner Substanz des Rotklees ähnlich wie der Serradella bei rund 40% gefunden wurde. Die übrigen festgestellten Werte kommen den sonst gewonnenen Durchschnittszahlen nahe. Man darf jedenfalls aus unseren Versuchsergebnissen folgern, daß der Gründüngungsstickstoff in der Gesamtwirkung nicht hinter dem Stallmiststickstoff zurückbleibt. Wenn auch die Menge des in den Gründüngungspflanzen vorhandenen Stickstoffs je nach der Art dieser Pflanzen verschieden ist, wie dieses bereits aus den oben angegebenen Zahlen hervorgeht, solche Abweichungen aber auch bei Pflanzen derselben Art je nach den Boden-, Düngungs- und sonstigen Anbauverhältnissen vorkommen können, so dürfen wir doch wohl im Durchschnitt mit wenigstens 100 kg Gesamtstickstoff je ha in einer normalen Ernte an Leguminosen-Grünmasse rechnen, wovon rund $^1/_3$—$^1/_4$ je nach dem Entwicklungszustande der Pflanzen bei der Ernte im ersten Jahre zur Wirkung kommen.

Außer Stickstoff haben wir in der Gründüngung auch noch mineralische Nährstoffe wie Kalk, Magnesia, Kali, Phosphorsäure zu berücksichtigen, besonders bei einem Vergleich der Gründüngung mit einer Stallmistdüngung, da diese Nährstoffe im Stallmist einen beachtenswerten Teil des Düngewertes des Stallmistes ausmachen. Zwar handelt es sich bei der Gründüngung nicht um einen direkten Gewinn wie beim Stallmist, sondern um Nährstoffe, die aus dem Boden entnommen sind, welche aber durch die Gründüngungspflanzen im Boden mobil gemacht und für die Ernährung der nachfolgenden Pflanzen erschlossen sind. Die oben mitgeteilten Zahlen über die Menge dieser Nährstoffe im Stallmist und in den Gründüngungspflanzen zeigen, daß wesentliche Unterschiede nur zum Teil bestehen, daß aber die Gründüngungspflanzen besonders in der Kalk- und auch in der Kalimenge dem Stallmist gleich oder überlegen sind. Es wird wesentlich von der Bodenbeschaffenheit abhängen, inwieweit die Gründüngungspflanzen sich in ihrem Mineralstoffvorrat dem Stallmist nähern; es sind auch Untersuchungen bekannt, die vor allem auch im Kalkgehalt ein für die Gründüngungspflanzen ungünstigeres Ergebnis zeitigten. Wenn man weiter berücksichtigt, daß nach den früheren Darlegungen die Phosphorsäure und das Kali des Stallmistes schnell und stark ausgenutzt werden, die Ausnutzung dieser Nährstoffe in der Gründüngung aber sehr von der Entwicklung der Pflanzen beim Unterpflügen abhängig ist, so wird man bei der Gründüngung die Beidüngung mit Kalk, Kali und Phosphorsäure beachten müssen. Diese

Schlußfolgerung stimmt mit anderweitig gemachten Erfahrungen überein, die dahin gehen, daß beim Unterpflügen von Gründüngungspflanzen eine Kaliphosphatdüngung nicht fehlen darf, wenn man durch die Gründüngung einen Ersatz für Stallmist geben und damit einen gleichguten Erfolg erzielen will.

Neben der Nährstoffwirkung dürfen wir bei der Wertschätzung der Gründüngung nicht vergessen, welche außerordentlich hohe Bedeutung die durch diese Pflanzen hervorgerufene Schattengare für die günstige physikalische und biologische Beschaffenheit des Bodens und damit für dessen natürliche Fruchtbarkeit hat, daß ferner durch das mehr oder weniger verzweigte Wurzelnetz der Gründüngungspflanzen den nachfolgenden Pflanzen der Weg in weitere Bodenschichten geebnet wird und danach die Versorgung dieser Pflanzen mit Feuchtigkeit erleichtert werden kann. Es ist nicht nötig, hierfür noch im einzelnen Beispiele anzuführen; es handelt sich hierbei um allgemein anerkannte Tatsachen, auf die aber bei einer Erörterung der Wirkung der Gründüngung kurz hingewiesen werden muß. Durch ihr gut entwickeltes Wurzelnetz schließen die in der Hauptsache zur Gründüngung verwendeten Leguminosen auch die Nährstoffe im Boden besser und stärker auf, als andere Nutzpflanzen, z. B. Gramineen, sodaß die nachfolgenden Pflanzen diese Nährstoffe für ihre Ernährung ausnutzen können. Unsere jahrelang durchgeführten Versuche im unverwitterten Gestein aus Buntsandstein, Muschelkalk, Basalt und Grauwacke geben uns hierfür interessante und beweisende Zahlen. Diese Versuche zeigen uns auch, wie sehr durch die Anreicherung des Gesteins mit Wurzelresten von Leguminosen — es wurden Ackerbohnen, Erbsen, Lupinen geprüft — das Wachstum der Pflanzen im Vergleich mit Gramineen (Gerste, Hafer) gefördert wird; da, wo eine Graminee einer Leguminose folgt, steigt der Ertrag auf das Zwei- und Mehrfache des Ertrages der Graminee nach einer Graminee. Daß wir die günstige Wirkung der Wurzelreste der Gründüngungspflanzen nicht unterschätzen dürfen, ergeben auch Versuche von Lemmermann; bei diesen mit Rüben ausgeführten Versuchen entfielen von der Gesamtwirkung der

	a) Lupinen	b) Serradella
a) auf die Wurzeln	57 %	40 %
b) auf die oberirdischen Teile	43 %	60 %

Schneidewind fand bei seinen Versuchen in Groß-Lübars erhebliche Unterschiede in der geernteten Masse, wie in der Menge der darin geernteten Nährstoffe in Blättern und Sprossen einerseits und Wurzeln andererseits, welche nahe legen, daß es sich bei der Wirkung der Wurzeln nicht nur um eine unmittelbare Nahrungszufuhr durch die Wurzelmasse handelt. Darauf deuten auch unsere Untersuchungsergebnisse hin. Es sind früher die in dem Gründünger enthaltenen Nährstoffe, sowohl in

der oberirdischen Pflanzenmasse, wie in den Wurzeln angegeben; wenn diese Zahlen auch nicht unmittelbar vergleichbar sind, so lassen sie doch einen erheblichen Unterschied in der Zusammensetzung der oberirdischen Pflanzenmasse und der Wurzeln annehmen. Dazu kommt, daß die Nährstoffe in den stärker verholzten Wurzeln schwerer ausnutzbar sind. Wir haben vier Jahre lang Versuche mit Weizen, Kartoffeln, Roggen und Hafer durchgeführt, bei denen die Gründüngungspflanzen teils untergepflügt, teils abgeerntet wurden, sodaß im letzten Falle nur Wurzeln und Stoppeln wirken konnten. Die Gründüngung mit Erbsen hat versagt, weil, wie ein Vergleich dieser Ergebnisse mit denjenigen nach gleichzeitiger Stickstoffdüngung gezeigt hat, die stärker verholzten Erbsen hier nachteilig gewirkt haben. Nach Serradella und Rotklee und im Vergleich damit nach Stallmist war der Mehrertrag gegenüber ungedüngt im Mittel der vier Jahre je ha folgender:

	Serradella	Rotklee	Stallmist
Untergepflügt	2550 kg	2544 kg	3836 kg
Abgeerntet	2309 „	1340 „	

Dieses sind nicht unerhebliche Mindererträge auf den abgeernteten Flächen gegenüber der Wirkung der gesamten untergepflügten Gründüngungsmassen, eine Beobachtung, die besonders da nicht außer acht gelassen werden darf, wo man die grüne oberirdische Masse verfüttert, sodaß nur die Stoppeln und Wurzeln dem Boden zu gute kommen.

Die Gründüngung hat zunächst auf den leichteren Böden hauptsächlich Anwendung gefunden und mag darauf mit die Ansicht zurückzuführen sein, daß Gründüngung nur für diese Böden in Frage komme. Das ist nicht der Fall, vielmehr kann die Gründüngung auch auf schwererem Boden mit gutem Erfolge angewendet werden und hier zur Verbesserung der Bodenbeschaffenheit, zur Lockerung und Erwärmung des Bodens beitragen.

Der Anbau der Gründüngungspflanzen kann als Hauptfrucht, Zwischen- oder Stoppelfrucht und Unterfrucht erfolgen. Die Art des Verfahrens wird oft durch das Klima bestimmt, insofern nämlich als Zwischenfrucht da ausscheidet, wo die Ernte zu spät ist und für die Entwicklung der Gründüngungspflanzen nicht genügend Zeit bleibt oder wenn die Niederschläge fehlen u. s. f. Der Anbau der Hauptfrucht ist der sicherste; die längere Wachstumsdauer gibt eine größere Gründüngungsmasse und damit auch mehr Stickstoff. Aber diese Anbauart bildet doch nur da die Regel, wo es sich um sehr arme, unfruchtbare Böden handelt. Auch da, wo der Boden stark verunkrautet ist, kann man durch einen guten Bestand mit Gründüngungspflanzen, als Hauptfrucht angebaut, das Unkraut unterdrücken. Wer Gründüngungspflanzen

als Hauptfrucht anbaut, muß sich darüber klar sein, daß dabei immer ein Erntejahr ausfällt. Was das ausmacht, zeigt deutlich ein Versuch von M. Gerlach, der je ha ergeben hat:

Fruchtfolge	Ertrag je ha an Körnern bezw. Knollen in dz			
	1. Jahr Lupinen		2. Jahr Roggen	
	a	b	a	b
1. Gründüngungs-Lupinen — Roggen . .	—	—	20,5	28,0
Samen- „ — „ . .	11,0	11,0	19,5	28,5
			Kartoffel	
2. Gründüngungs-Lupinen — Kartoffel . .	—		185,0	
Samen- „ — „ . .	10,0		196,0	

Der Ernteertrag der Nachfrucht ist also nach dem Abernten der Lupinen ebenso hoch als nach der Gründüngung mit Lupinen, sodaß die Ernte an Samenlupinen einen besonderen Gewinn bedeutet. Diese Feststellung, die durch viele andere Beispiele bestätigt werden kann, zeigt, daß diese Art Gründüngung eine Ausnahme bildet und nur da anzuwenden ist, wo besondere Wirtschaftsverhältnisse dazu zwingen. Als Hauptfrucht hat sich in erster Linie die Lupine für die leichteren Böden bewährt; wenn es sich ausnahmsweise um schwerere Böden handelt, so kommen Ackerbohnen und Erbsen in Frage.

Der Zwischenfruchtbau oder die Stoppelsaat wird besonders da bevorzugt, wo die Vorfrucht den Boden so früh räumt, daß noch genügend Zeit zu einer guten Entwicklung der Gründüngungspflanzen bleibt. Dazu gehört auch vor allem günstiges Wetter, insbesondere sind in der ersten Zeit ausreichende Niederschläge nötig; diese bestimmen den Erfolg der Stoppelsaat, denn je seltener und schwächer die Regenfälle im Juli und August sind, desto unsicherer ist der Zwischenfruchtbau. Da auf den leichteren Böden die Ernte immer etwas früher eintritt, als auf schwererem Boden, also auf den leichteren Böden immer einige Wachstumstage für die Gründüngungspflanzen mehr zur Verfügung stehen, wird der Zwischenfruchtbau auch für diese Böden besonders am Platze sein. Es sind also klimatische und auch Bodenverhältnisse in erster Linie für diese Art der Gründüngung bestimmend.

Wenn Stoppelsaaten schlecht geraten, entwickelt sich leicht Unkraut. In diesem Falle muß man auf die Gründüngung verzichten und soll man die lückig stehenden Pflanzen sofort umpflügen, denn die Verunkrautung des Feldes schadet mehr, als die schlechte Gründüngung nutzen kann.

Stoppelsaat erfolgt am besten nach Frühkartoffeln, Wintergerste, frühreifendem Roggen und Raps. Die Stoppelsaat sollte möglichst bis

Ende Juli erfolgt sein; die rechtzeitige Aussaat ist für die Entwicklung der Pflanzen und damit auch für den Stickstoffgewinn durch die Gründüngung von großer Bedeutung. So fand Vibrans bei einem Anbauversuch mit Wicken:

bei einer Aussaat am	19. 7.	5. 8.	31. 8.
kg Stickstoff je ha	122,6	79,8	31,0

Auf den leichteren Böden bevorzugt man Lupinen und Serradella für die Stoppelsaat und zwar die gelbe Lupine auf kalkarmem Boden und da, wo mehr Kalk im Boden ist, die blaue Lupine. Für die besseren Böden sind Pferdebohnen, Wicken oder Erbsen geeignet oder man wählt hier ein Gemisch dieser Pflanzen. Auf kalkhaltigem Boden kann auch noch im August Inkarnatklee in die umgebrochene Stoppel gesät werden; wenn Boden und Witterung für die Entwicklung der Pflanzen günstig sind, kann man im Herbst noch einen Grünfutterschnitt erhalten, allerdings ist dieses eine Ausnahme und geschieht auf Kosten der Wirkung der Pflanzen als Gründünger. Man kann auch im Frühjahr zunächst einen Schnitt als Grünfutter verwenden und hat dann doch, wenn die Witterung nicht gar zu ungünstig für das Wachstum der Pflanzen ist, in den Wurzeln und Stoppeln immer noch reichlich Nahrung für eine Sommerfrucht.

Es ist schon früher auf die Notwendigkeit der Düngung der Gründüngungspflanzen mit Mineraldünger hingewiesen worden. Vor allem kommt es auf Kali und Phosphorsäure an; bei Kalkanwendung spielt die angebaute Pflanze eine Rolle, wie die vorhergehenden Ausführungen zeigen. Es empfiehlt sich vielfach, diese Düngung bereits zur Vorfrucht und dann so reichlich zu geben, daß sie auch für die Gründüngungspflanzen ausreicht. Wenn diese Düngung der Vorfrucht nicht möglich ist, kann man die Kaliphosphatdüngung auch auf die Stoppeln geben, sodaß der Dünger beim Umbruch in den Boden kommt. Wenn der Boden sehr stickstoffbedürftig ist, kann auch eine schwache Stickstoffdüngung angebracht sein, damit die Pflanzen sich sogleich gut entwickeln können und nicht erst eine Hungerperiode durchmachen müssen, die ihre schnelle und kräftige Entwicklung stören würde.

Die Untersaat kann sowohl in Winterfrucht als auch in Sommerfrucht erfolgen. Die Einsaat in die Winterfrucht darf nicht zu spät geschehen; man kann z. B. bei günstiger Witterung schon im Februar an die Einsaat von Gelbklee denken. Die Einsaat in Sommerung darf nicht zu früh erfolgen, damit die Gründüngungspflanze einmal der Deckfrucht nicht zu viel Nahrung wegnimmt, dann aber auch, damit durch das Schneiden beim Mähen der Deckfrucht ihr Wachstum nicht beeinträchtigt wird. Wenn die Einsaat in die Sommerung so spät erfolgt, daß die Deckfrucht schon weit entwickelt ist, dann kann die Grün-

düngungspflanze in ihrem Wachstum stark leiden. Die Zeit der Einsaat wird daher wesentlich von der Entwicklung der Deckfrucht und von der Schnelligkeit des Wachstums der Gründüngungspflanzen abhängen. Als Pflanzen für die Untersaat kommen die verschiedenen Kleearten Gelbklee, Schwedenklee, Weißklee, ferner Serradella in Frage; weniger geeignet ist Bokharaklee.

Die als Untersaat angesäten Pflanzen sind im Anbau sicherer, als die Stoppelsaat, da sie unter dem Schutze der Deckfrucht sich zunächst entwickeln, ihr Wurzelnetz ausbilden und sich besser mit Wasser versorgen, also eine Trockenperiode leichter überstehen können. Die Entwicklung kann auch nach Abernten der Deckfrucht schneller vorwärtsgehen, was besonders dort ins Gewicht fällt, wo die Ernte später eintritt und für das Wachsen der Gründüngungspflanzen deshalb weniger Zeit bleibt. Darin haben wir auch den Grund dafür zu suchen, daß die Untersaat besonders auf schweren Böden oder in höheren Lagen bevorzugt wird. Dazu kommt, daß die Untersaat nach dem Abernten der Deckfrucht keine weitere Arbeit mehr verursacht. Ein Vorteil liegt auch noch darin, daß bei der Untersaat weniger Saatgut gebraucht wird. Es geht aber bei dieser Art der Gründüngungsaussaat gegenüber der Stoppelsaat die günstige Wirkung der Bodenbearbeitung auf die Unkrautbekämpfung und die Bodengare verloren.

Als Unterlage für einen Vergleich der Wirkung der Gründüngung beim Anbau der Pflanzen als Hauptfrucht, Stoppelsaat oder Untersaat können uns die Zahlen dienen, welche M. Hoffmann aus den Untersuchungsergebnissen verschiedener Forscher berechnet hat. Wenn solche Durchschnittszahlen auch, besonders wenn sie aus verschiedenen Versuchen mit nicht immer denselben Pflanzen errechnet sind, nur einen bedingten Wert haben, so können sie uns doch einen Anhalt für die Beurteilung der Wirkung der Gründüngung je nach der Art des Anbaues der Pflanzen geben. Hoffmann gibt als Durchschnittsertrag je ha an:

	Frische Substanz dz	Trockensubstanz dz	Stickstoff kg	Phosphorsäure kg	Kali kg
1. Oberirdische Substanz:					
a) Hauptfrucht	346,0	48,9	139,2	—	—
b) Stoppelsaat	207,7	35,4	104,8	24,3	71,5
c) Untersaat	178,2	39,1	117,8	35,8	81,5
2. Wurzel und Stoppel:					
a) Hauptfrucht	—	6,00	18,50	20,0	17,5
b) Stoppelsaat	18,30	5,90	13,20	3,4	7,2
c) Untersaat	14,66	5,54	14,74	2,9	4,4

Erklärlicherweise steht die Hauptfrucht an erster Stelle. Zwischen Stoppelsaat und Untersaat besteht kein wesentlicher Unterschied, immer-

hin steht die Untersaat voran, ein Ergebnis, welches in Versuchen Schneidewinds keine vollständige Bestätigung findet, indem hier der höhere Ertrag an Stickstoff in den als Stoppelsaat angesäten Pflanzen festgestellt wurde; wenn dieser Unterschied auch nicht groß ist, so ist er bemerkenswert, weil er sowohl in dem schwereren Boden in Lauchstädt wie in dem leichteren Boden in Groß-Lübars festgestellt wurde.

Es kommt vor, daß eine Leguminosenart da, wo sie bisher noch nicht angebaut war, versagt oder doch nur ein kümmerliches Wachstum zeigt, sodaß ihr Anbau nicht lohnt. Die Ursache hierfür kann das Fehlen der dieser Pflanze zusagenden Wurzelknöllchenbakterien sein, durch deren Mitarbeit die Pflanze den freien Stickstoff der Luft ausnutzen kann. Diese Bakterien, die nach den bereits früher erwähnten Untersuchungen Hellriegels für eine gedeihliche Entwicklung und Wirkung der Leguminosen unbedingt erforderlich sind, können dem Boden künstlich zugeführt werden, entweder dadurch, daß man — wie es von der praktischen Landwirtschaft schon immer geschehen ist, ohne den Grund dafür zu kennen, und später besonders von Salfeld befürwortet worden ist — Erde von einem Felde, auf dem die betreffende Leguminose schon mit Erfolg angebaut war und deshalb darin die Bakterien vorhanden sein mußten, auf das fragliche Feld bringt, indem man dieses mit dem betreffenden Boden überstreut, ihn also gewissermaßen damit impft oder aber, indem man die auf Grund der Versuche von Nobbe und Hiltner künstlich gezüchteten Bakterien der betreffenden Pflanzenart in den Nitragin- und Azotogen-Präparaten zur Impfung des Saatgutes verwendet. Der letztere Weg ist der einfachere und billigere und dabei durchaus sicher, wie wir durch eigene Versuche wiederholt feststellen konnten. Unter besonders ungünstigen Boden- oder klimatischen Verhältnissen für das Wachstum einer Leguminose kann eine Wiederholung der Impfung beim späteren Anbau notwendig werden, bis ein voller Erfolg erreicht wird. Vor allem ist nötig, daß vollwertige Bakterienkulturen Verwendung finden; der Erfolg bleibt sicherlich aus, wenn Nitraginkompost und ähnliche Impfdünger, welche zeitweise in starkem Grade angeboten wurden, zur Impfung benutzt werden.

Für die günstige Wirkung der Gründüngung ist die Zeit und die Art der Unterbringung der grünen Pflanzenmassen wichtig. Die Zeit des Unterbringens wird durch den Boden und die Nachfrucht bestimmt. Ist letztere Roggen, so müssen die Gründüngungspflanzen bald untergebracht werden, damit der Boden sich wieder gut setzen kann, denn der Roggen liebt keinen lockeren Boden; kann die Gründüngungsmasse zu Roggen erst spät untergebracht werden, dann sollte es möglichst flach geschehen, damit die Zersetzung bald eintritt. In der Regel wird die Gründüngung zur Sommerung gegeben und zwar in erster Linie zu Kartoffeln und Rüben; von den Getreidearten nutzt der Hafer die Grün-

düngung am besten aus. Bei der Anwendung der Gründüngung zur Sommerung soll man die Gründüngungspflanzen möglichst lange stehen lassen; je leichter der Boden ist, desto später hat das Unterpflügen zu erfolgen, je schwerer der Boden ist, desto langsamer ist die Zersetzung der organischen Massen, und kann hier die Gründüngungsmasse schon im Herbst untergepflügt werden, ohne daß erhebliche Verluste zu befürchten sind. Nach den früheren Ausführungen vollzieht sich die Zersetzung der organischen Substanz und die Nitrifikation der Stickstoffverbindungen besonders bei jüngeren Pflanzen und in durchlässigem leichtem Boden schnell, sodaß, wenn Pflanzen in dem Boden fehlen, die gebildete Salpetersäure bald in den Untergrund versickern kann. Wie sehr die Bodenart bei diesen Stickstoffverlusten mitspielt, ergeben Versuche von Bäßler, welcher folgende Verluste an Stickstoff feststellte:

	Humoser Sandboden	Humoser Sandboden mit 2,5 % $CaCO_3$	Quarz-Sandboden
a) durch Wasser ausgelaugt . .	35,8 %	44,8 %	63,5 %
b) auf andere Weise verschwunden	26,5 „	28,9 „	36,5 „
Gesamt-Verlust	62,3 „	73,7 „	100,0 „

Daß bei solchen Verlustzahlen eine Wirkung des Gründüngungsstickstoffs nicht beobachtet wird, ist erklärlich; wir erkennen daraus aber auch, daß auf solchen Böden nicht zu lange Zeit zwischen dem Unterpflügen der Gründüngungspflanzen und dem Wachstum der Pflanzen liegen darf.

C. v. Seelhorst zeigt durch seine Versuche deutlich den Einfluß der Zeit des Unterpflügens der Gründüngungspflanzen auf die Stickstoffwirkung; auf leichtem Boden war die Hälfte des Stickstoffs, der im Oktober mit einer Gründüngung in den Boden gebracht war, bis zum Februar-März verschwunden. Lemmermann findet, daß bei Rüben und Kartoffeln die Gründüngung dann höhere Erträge gibt, wenn sie im Frühjahr untergepflügt wird, eine Beobachtung, deren Ursache sicherlich auch in der Erhaltung des Stickstoffs in diesem Falle liegt. Es ist dabei aber weiter noch zu beachten, ob die Pflanzen den Stickstoff bald benötigen; so kann beim Anbau von Kartoffeln, die bei der anfänglichen langsamen Entwicklung zunächst weniger Stickstoff gebrauchen, mehr Stickstoff verloren gehen, als bei Zuckerrüben, die schon im Mai einen größeren Bedarf an Stickstoff haben. Auch der Wasserbedarf der Pflanzen kann hierbei mitspielen; dieser ist bei der Kartoffel im Anfang geringer als bei der Zuckerrübe, sodaß bei der Kartoffel mehr Wasser zum Lösen und Auswaschen der Nährstoffe zur Verfügung steht. Das ist ein wesentlicher Faktor für die Beurteilung der Verluste an Gründüngungsstickstoff durch Sickerwasser. Aus allem folgt der Einfluß des Bodens,

der Art und der Beschaffenheit der Gründüngungspflanzen und der nachfolgenden Pflanzen auf die Zeit des Unterpflügens und die dadurch bedingte Wirkung der Gründüngung.

Die Schnelligkeit der Zersetzung der grünen Pflanzenmassen wird wesentlich durch die Tiefe des Unterbringens beeinflußt; je tiefer diese grünen Massen in den Boden gebracht werden, desto geringer ist der Luftzutritt und desto langsamer die Zersetzung der Pflanzen. Wenn die Pflanzen zu tief in den Boden gebracht werden, besteht die Gefahr, daß die Zersetzung der organischen Massen hintangehalten wird, daß diese im Boden verfilzen, genau so wie es mit dem zu tief in den Boden gebrachten Stallmist der Fall ist. Man wird zweckmäßig den Gründünger nicht tiefer als 15 cm in den Boden bringen. Besonders die Versuche von Bäßler haben hier aufklärend gewirkt und haben gezeigt, daß durch flaches Unterbringen des Gründüngers eine bessere Ausnutzung des Stickstoffs und ganz erhebliche Mehrerträge gegenüber dem tieferen Unterbringen erzielt werden können.

Die Notwendigkeit der Beidüngung von Kali und Phosphorsäure zur Gründüngung ist bereits früher hervorgehoben worden. Aber auch die Beigabe von Stickstoff kann von Vorteil sein; dabei wird oft die Entwicklung der Gründüngungspflanzen mitsprechen. Ein Versuch mit Kartoffeln, der nach abgeweidetem Gelbklee durch Kaliphosphatdüngung neben Stallmist einen Mehrertrag von 28 Ztr. je ha brachte, ergab durch weitere Beigabe von Stickstoff eine Ertragssteigerung von 80 Ztr. Kartoffeln. Andere Versuche mit Weizen bestätigten dieses Ergebnis. Vielfach begegnet man noch der Ansicht, die besonders von Schultz-Lupitz vertreten wurde, daß auch die Beigabe von Stallmist die Wirkung der Gründüngung sehr fördere; man glaubte die Ursache hierfür darin suchen zu sollen, daß durch die im Stallmist vorhandenen Bakterien die Zersetzung der grünen Pflanzenmassen beschleunigt werde. Letztere Ansicht kann nach den Versuchen Lemmermanns nicht mehr als richtig aufrecht erhalten werden. Er konnte durch Atmungs- und Kohlenstoffbilanzversuche nicht feststellen, daß bei Zusatz von Stalldünger zu Gründünger letzterer schneller zersetzt wurde als Gründünger allein. Bei Versuchen mit Rüben (Versuch I und III) und Kartoffeln (Versuch II) wurden je ha in dz gegenüber ohne Gründüngung mehr geerntet:

	Gründünger		
	I Lupinen	II Lupinen	III Serradella
Mit Stalldünger	92,0	27,6	76,0
„ Gründünger	285,0	78,4	245,0
„ Gründünger und Stalldünger	361,0	95,9	313,0

Lemmermann folgert aus seinen Versuchen: „Durch eine Beigabe von Stalldünger ist also der Ertrag zwar gesteigert worden, aber die Einzelerträge, die durch alleinige Anwendung von Gründüngung und Stalldünger erzielt wurden, sind ebenso hoch (in der Regel sogar höher) wie die durch die kombinierte Anwendung erzielten. Nichts deutet also darauf hin, daß der Stalldünger einen spezifisch günstigen Einfluß auf die Wirkung der Gründüngung ausübt. Es handelt sich lediglich um eine Additionswirkung. Man wird diese günstige Wirkung des Stalldüngers in vielen Fällen durch die Beigabe anderer stickstoffhaltiger Düngemittel erzielen können und es erscheint auf Grund dieser Versuche zweckmäßig, den Stalldünger auf solchen Feldern zu verwenden, die organische Substanzen nötiger haben, als Gründüngungsfelder.“ Dieser Schlußfolgerung, besonders in ihrem letzten Satze, ist durchaus beizupflichten.

III. Die künstlichen Düngemittel

1. Allgemeines über die Anwendung

Es ist bereits früher der Unterschied zwischen den natürlichen und künstlichen Düngemitteln nach Zusammensetzung und Wirkung erörtert worden; es erübrigt sich deshalb hier wieder eingehender darauf zurückzukommen. Nur auf das eine sei nochmals als das wesentlichste hingewiesen, daß die künstlichen Düngemittel je nach der Löslichkeit ihrer Nährstoffe mehr oder weniger schnell, zum Teil sofort, aber dabei immer nur einseitig wirkende Düngemittel sind und deshalb durch ihre Anwendung dem Nährstoffbedürfnis der Pflanzen in jeder Weise Rechnung getragen werden kann, daß ihnen aber, abgesehen von einigen wenigen, nur in geringer Menge verfügbaren Abfällen, die zersetzungsfähigen organischen Stoffe fehlen, welche den Humus liefern, der die Grundlage für die Fruchtbarkeit des Bodens abgibt. Dieser Mangel der künstlichen Düngemittel darf nicht unterschätzt werden, denn die Ausnutzung ihrer Nährstoffe durch die Pflanzen und ihre ertragssteigernde Wirkung ist nur da gesichert, wo durch die Zersetzung der organischen Stoffe im Boden eine Gare geschaffen ist, welche ein gesundes Wachstum ermöglicht. Je stärker sich die Zersetzungs- und Umsetzungsvorgänge im Boden abspielen, desto mehr dürfen wir mit einer günstigen Wirkung der Düngung auf das Gedeihen der Pflanzen rechnen. Bei dieser Bedeutung der organischen Stoffe für die Fruchtbarkeit des Bodens ist es klar, daß da, wo diese Stoffe fehlen, die Bodenfruchtbarkeit zurücktreten muß. Deshalb ist bei fortgesetzter einseitiger Anwendung künstlicher Düngemittel der Rückgang der Erträge unvermeidlich. Die Ansicht, mit Kunstdünger allein in der Kultur vernachlässigte und deshalb in der Fruchtbarkeit zurückgegangene Böden wieder ertrag-

reich machen zu können, ist falsch; in erster Linie bedürfen wir dazu der natürlichen Dünger mit ihren organischen Stoffen, durch deren Zersetzung das organische Leben im Boden ermöglicht und gefördert wird. Anders ist es, wenn auf einem an sich gesunden und in guter Kultur befindlichen Boden das Wachstum der Pflanzen durch ungünstige Witterung oder durch andere äußere Einflüsse gelitten hat; hier kann Kunstdünger mit leichtlöslichen und schnellwirkenden Nährstoffen die Pflanzen bald vorwärts bringen. Wir müssen bei der Beurteilung der Wirkung der künstlichen Düngemittel immer festhalten, daß der Kunstdünger kein Ersatz, sondern immer nur eine Ergänzung des natürlichen Düngers sein kann und diese Ergänzung sich dem Nährstoffbedürfnis von Boden und Pflanzen in der richtigen Weise anpassen muß. Daß wir dieses nach und nach immer besser verstanden und die einseitige Befolgung der Lehre J. v. Liebigs verlassen haben, beweisen die Ertragssteigerungen, welche, wenn sie auch zum Teil andere Ursachen wie sachgemäßere Bodenbearbeitung, besseres Saatgut, gute Pflege der Saaten u. s. f. haben, doch zu einem ganz erheblichen Teil in der richtigen Düngung begründet sind. Die Ertragsrückgänge durch die Einwirkungen der Kriegs- und Nachkriegszeit lehren uns, daß trotz verstärkter Anwendung von Kunstdünger in den folgenden Jahren die Erträge zurückbleiben, wenn die Bodenbeschaffenheit infolge mangelnder Bodenpflege und unrichtiger Düngung für das Pflanzenwachstum nicht günstig ist und der gute Garezustand des Bodens fehlt; es ist leichter, die Fruchtbarkeit eines Bodens zu zerstören, als den Boden wieder in einen Zustand zurückzuführen, der gute Erträge ermöglicht. Wenn die Höhe des Ertrages allein durch die Stärke der Düngung mit künstlichen Düngemitteln bestimmt würde, müßten unsere Erträge gegen früher nicht gefallen, sondern ganz erheblich gestiegen sein. Die nachfolgenden Zahlen beweisen das Gegenteil. Je ha waren in Deutschland:

a) Die Durchschnittserträge in dz:

Jahr	Brotgetreide	Kartoffeln	Wiesenheu
1879	11,4	80,4	31,0
1913	20,3	157,1	48,5
1925	15,1	130,5	40,6

b) Die in Kunstdünger verbrauchten Nährstoffe in kg:

Jahr	Stickstoff	Phosphorsäure	Kali
1913/14	6,0	18,0	15,9
1925/26	11,7	13,1	21,5
1926/27	13,8	16,3	24,7

Im Vergleich mit diesem Nährstoffverbrauch in Deutschland interessiert dieser Verbrauch in anderen Ländern; zwar liegen mir hierfür nicht die Zahlen aus dem Jahre 1925, sondern aus dem Jahre 1922 vor, aber für einen Vergleich können auch diese Zahlen dienen. Darnach ist der Verbrauch an Stickstoff, Phosphorsäure und Kali je ha landwirtschaftlicher Nutzfläche in kg gewesen:

Land	1913			1922		
	Stickstoff	Phosphorsäure	Kali	Stickstoff	Phosphorsäure	Kali
Deutschland . .	6,0	18,0	15,9	11,0	16,0	29,6
Belgien	24,0	35,0	5,0	7,0	23,0	9,4
England	5,0	23,0	2,0	4,0	18,0	2,0
Frankreich . . .	3,0	17,0	0,7	2,0	17,0	6,0
Italien	1,3	12,0	0,4	1,0	11,0	0,2
Niederlande . .	17,0	86,0	17,0	18,0	76,0	29,7
Schweden . . .	2,0	8,0	5,0	2,0	2,0	5,0
Schweiz	1,5	10,0	1,0	2,6	13,0	1,0
Nordamerika . .	1,2	4,0	1,2	1,1	3,6	1,0
Japan	3,2	14,0	0,02	3,1	16,5	0,02

Sie sind nach den Ermittelungen des internationalen Landwirtschaftlichen Institutes in Rom wiedergegeben; in einigen Angaben zeigen sich so erhebliche Abweichungen in beiden Jahren, z. B. im Stickstoffverbrauch in Belgien, daß man hier einen Irrtum annehmen möchte; aber wenn dieses auch der Fall ist, so sind diese Zahlen doch in verschiedener Hinsicht interessant. So erkennen wir mit wenigen Ausnahmen, daß der Rückgang des Phosphorsäureverbrauches nahezu allgemein gewesen ist. In der Zunahme des Stickstoffverbrauches, welche nicht so allgemein ist wie die Abnahme des Phosphorsäureverbrauches, steht Deutschland an der Spitze, im Verbrauch selbst nehmen die Niederlande die erste Stelle ein. Im Kaliverbrauch stehen Deutschland und die Niederlande obenan; bemerkenswert ist die verhältnismäßig starke Zunahme des Kaliverbrauches in Frankreich, die sich aus der Ausnutzung der elsässischen Kaligruben erklären dürfte.

Die Gesamtmenge der im Kunstdünger verbrauchten Nährstoffe in Deutschland ist folgende gewesen, in Tonnen angegeben (Tabelle S. 108).

Diese Zahlen lassen den starken Rückgang der Anwendung der Stickstoff-, Phosphorsäure- und Kalkdünger in den Kriegsjahren erkennen. Bei den Kalidüngern haben wir nach Kriegsende eine starke Zunahme zu verzeichnen, die in der Hauptsache mit darauf zurückzuführen ist, daß diese Kalidünger uns ausreichend zur Verfügung standen, während dieses bei den übrigen Düngern zunächst in geringerem Maße der Fall

Jahr	Stickstoff	Phosphorsäure	Kali	Düngekalk	
				Branntkalk	Kalkmergel
1913/14	185 000	555 000	490 000	2 000 000	1 500 000
1919/20	159 000	138 000	757 000	—	—
1923/24	255 000	167 000	538 000	322 000	483 000
1925/26	330 000	380 000	609 000	566 000	638 000
1926/27	400 000	475 000	717 000	591 000	806 000

war. Mit der besseren Versorgung mit diesen letzteren Düngern ist wieder ein Rückgang im Verbrauche der Kalidünger eingetreten, der jetzt aber wieder sich in einen Aufstieg umgewandelt hat. Auch bei Stickstoff, Phosphorsäure und Kalk zeigt sich eine Zunahme, die bei Stickstoff mehr noch als bei Kali den Verbrauch vor dem Kriege übersteigt, während bei Phosphorsäure und vor allem bei Kalk die frühere Verbrauchshöhe noch nicht wieder erreicht ist.

Im einzelnen ergeben diese hier mitgeteilten Zahlen folgendes:

Für das Jahr 1879 fehlen Angaben über die verbrauchten Kunstdüngermengen; wir wissen aber, daß zu dieser Zeit eine im Vergleich zur Jetztzeit nur geringe Kunstdüngermenge angewendet worden ist. Nach den obigen Zahlen hat im Jahre 1926/27 gegenüber 1913/14 nur im Verbrauch an Phosphorsäure eine Abnahme stattgefunden, in der Verwendung von Stickstoff und Kali ist aber eine Zunahme eingetreten, welche bei Stickstoff eine Verdoppelung ausmacht. Da der Stickstoff — wenn auch oft in Überschätzung seiner Wirkung — vielfach als der Regulator der Ertragssteigerung bezeichnet wird, so sagen uns diese Zahlen über die Durchschnittserträge unserer Ernten und die verbrauchten Nährstoffe, wie wenig mit Kunstdünger zu erreichen ist, wenn die sonstigen Grundlagen für die Bodenfruchtbarkeit gestört sind. Wir erkennen aus diesen Feststellungen weiter, wie nötig es ist, alle Wachstumsfaktoren zu berücksichtigen, wenn wir nicht zu einem unzutreffenden Urteil über die notwendige Düngung kommen wollen.

Für die Anwendung der künstlichen Düngemittel ist nicht nur die Steigerung der Erträge an sich von Bedeutung, sondern vor allem auch die Erzielung solcher Erträge, durch welche die Kosten der Anwendung der künstlichen Düngemittel gedeckt werden. Darüber herrscht nicht immer die notwendige Klarheit; wenn dieses der Fall wäre, so würde manches Düngemittel keinen Absatz finden und in vielen Fällen die Anwendung der künstlichen Düngemittel dem tatsächlichen Bedürfnis von Boden und Pflanzen besser angepaßt und damit an Kunstdünger gespart werden. Wertvoll ist hierfür, daß man sich überhaupt klar macht, was die einzelnen Nährstoffe unter normalen wirtschaftlichen Verhältnissen leisten können. Solche Feststellungen sind von M. Gerlach,

Th. Remy u. a. m. gemacht worden. Es ist klar, daß die dabei errechneten Zahlen keine genaue Übereinstimmung zeigen können, weil die Grundlagen dieser Berechnungen verschieden sind; die Ergebnisse liegen aber in derselben Richtung, sodaß man sie als Unterlage für die Beurteilung der Wirkung der einzelnen Nährstoffe verwenden kann. Das genügt auch für uns, denn diese Feststellungen sollen nicht für alle Fälle gelten, sondern nur als Richtschnur für unser Urteil über die Wirkung der einzelnen Nährstoffe dienen. Ich beschränke mich deshalb auf die Mitteilung der Ergebnisse unserer mehrjährigen Versuche in dieser Richtung in folgender Weise:

Nährstoff	Mehrertrag durch 1 kg Nährstoff			Preis für 1 kg Nährstoff	Wert des Mehrertrages			
	Getreide		Kartoffel		im ganzen		Mehrfaches der Düngungskosten	
	Körner	Stroh			Getreide	Kartoffel		
	kg	kg	kg	RM	RM	RM	Getreide	Kartoffel
Stickstoff . . .	16,9	23,8	70,4	1,00	4,10	4,22	4	4
Phosphorsäure.	7,7	7,5	36,4	0,25	1,77	2,18	7	8,7
Kali	8,4	12,1	54,4	0,19	2,05	3,26	11	17

Wir entnehmen aus diesen Versuchsergebnissen, daß der Mehrertrag durch Stickstoff das 4fache der Ausgabe für Düngung, derjenige durch Phosphorsäure rund das 7—9fache und durch Kali das 11- bezw. 17fache der Düngungskosten ausmacht. Der Mehrwert des Ertrages ist also nicht im Verhältnis der Nährstoffpreise gestiegen. Wenn auch die Ertragszahlen nach Stickstoffdüngung die höchsten Werte zeigen, so haben doch Phosphorsäure und Kali die Ausgaben für den Dünger besser gelohnt. Das beweist uns, daß wir den Stickstoff den Pflanzen am vorsichtigsten zumessen und bei der Anwendung desselben jedes Übermaß, dessen Ausnutzung durch die Pflanzen nicht gesichert ist, vermeiden müssen, wenn wir nicht die Wirtschaftlichkeit der Anwendung des Stickstoffs gefährden wollen. Bei der Anwendung von Phosphorsäure und Kali bringt eine das notwendige Maß überschreitende Menge in der Düngung nicht diese Gefahr für die Wirtschaftlichkeit der Anwendung, ja dieses Mehr an diesen Nährstoffen kann sogar da geboten sein, wo das Düngebedürfnis des Bodens nicht genau bekannt ist, um die volle Ausnutzung des teueren Stickstoffs in jedem Falle sicherzustellen. Die Bedeutung des Stickstoffs für die Ernährung der Pflanzen an sich wird hierdurch natürlich nicht berührt.

Ebenso wie diese Feststellungen nur als allgemeiner Anhalt gewertet werden dürfen, welcher nicht für alle Verhältnisse zutreffen muß, sind auch die Angaben über die durch eine bestimmte Menge Dünger er-

zielten Mehrerträge und über sogenannte Normaldüngungen aufzufassen; wir dürfen darin niemals eine sichere Grundlage für eine Düngung sehen, welche unter allen wirtschaftlichen Verhältnissen zu Erfolgen führen muß. Wer beobachten konnte, mit welcher Sicherheit und Bestimmtheit auf Grund solcher Angaben, welche ursprünglich mit allem Vorbehalt vorsichtiger Anwendung unter Berücksichtigung der besonderen wirtschaftlichen Verhältnisse gemacht sind, genaue Düngungsmaßnahmen sehr oft empfohlen worden sind, ohne daß den nicht immer gleichen Kulturverhältnissen Rechnung getragen wurde, daß also eine Verallgemeinerung der gegebenen Richtlinien statt hatte, muß Bedenken tragen, diese Angaben hier zu wiederholen. Ich werde deshalb auch nur in besonderen Fällen darauf zurückkommen und mich im übrigen auf allgemeine Angaben beschränken. Für die Wirtschaftlichkeit der Anwendung künstlicher Düngemittel, insbesondere für die Bemessung der Düngermenge wird es wichtig sein, durch richtige Bodenbearbeitung und ausreichende Zufuhr natürlichen Düngers die Bodenkultur so zu fördern, daß der Boden imstande ist, die zugeführten Nährstoffe des Kunstdüngers vollständig auszunutzen. Wahrscheinlich wird man dann in vielen Fällen sogar durch weniger Kunstdünger höhere Erträge erzielen.

Über die Menge der im Einzelfalle nötigen Nährstoffe geben uns eigene Beobachtungen und Erfahrungen, welche durch besondere Versuche gestützt werden müssen, die beste Auskunft, weil hierbei die besonderen wirtschaftlichen Verhältnisse (Boden, Klima usw.) Berücksichtigung finden. Die anderen Verfahren zur Bestimmung des Düngebedürfnisses der Böden, welche ich früher besprochen habe, lassen uns dabei mehr oder weniger im Stiche. Wenn man versucht, auf Grund der durch die Ernte entzogenen Nährstoffmengen die notwendigen Düngermengen zu berechnen und gar eine Nährstoffmischung herzustellen, in der die Nährstoffe in dem Verhältnis vorhanden sind, wie in den geernteten Pflanzen, so verkennt man dabei die Tatsache, daß die Pflanze ihren Nährstoffbedarf nicht nur aus dem Dünger erhält, sondern in erster Linie aus dem Boden entnehmen soll; die Notwendigkeit, rentabel zu wirtschaften, fordert, daß wir die Bodennährstoffe zuerst ausschöpfen müssen, bevor wir die Nährstoffe den Pflanzen im zugekauften Dünger zuführen. Über diese kostenfreie Nährstoffquelle des Bodens sind wir aber so weit sicher unterrichtet, daß wir wissen, daß sie in jeder Wirtschaft anders fließt, daß es also nicht möglich ist, mit einer Nährstoffmischung allen Verhältnissen gerecht zu werden, daß wir also nicht eine für alle Verhältnisse gleiche Mischung gebrauchen können, sondern in jedem einzelnen Falle eine besondere, den gegebenen wirtschaftlichen Verhältnissen angepaßte Düngermischung herstellen müssen. Auf die Mischdünger komme ich später noch zurück.

Wenn wir bei der Berechnung der nötigen Nährstoffmengen von den in der Ernte dem Boden entzogenen Nährstoffen ausgehen wollen, so müssen wir dabei berücksichtigen, daß die Menge der letzteren nicht derjenigen gleich ist, welche für die Pflanzen im Boden verfügbar war, daß die Pflanzen vielmehr nur einen Teil dieser für die Pflanzenernährung löslichen Bodennährstoffe aufgenommen haben. Wir dürfen auf Grund der vorliegenden Feststellungen annehmen, daß von den im Boden in für die Pflanzen aufnehmbarer Form vorhandenen Nährstoffen im ersten Jahre vom Stickstoff 60%, von der Phosphorsäure nur 10%, von Kali etwa 30% im Durchschnitt aufgenommeu werden. Auch diese Zahlen dürfen nicht verallgemeinert werden; sie sagen uns aber, daß wir von der Phosphorsäure ein erhebliches Mehr und ebenso auch von Kali mehr im Boden für die Pflanzen verfügbar haben müssen, als vom Stickstoff, wenn wir den Pflanzen die Nährstoffe in einem Verhältnis zuführen wollen, durch welches ihr normales Wachstum gesichert ist. Wenn wir diese Auswertungszahlen einmal als Maßstab annehmen wollen, so ergeben sich dabei folgende Verhältnisse. Nach den ausgeführten Berechnungen ist das Verhältnis von Stickstoff, Phosphorsäure, Kali in verschiedenen Pflanzen folgendes:

Pflanzen	Stickstoff	Phosphorsäure	Kali
Getreide	1	0,50	1,01
Bohnen und Erbsen	1	0,26	0,39
Kartoffel	1	0,46	1,76
Rüben	1	0,37	1,51
Wiesenheu	1	0,38	0,56
Kleeheu	1	0,32	1,28

Wenn wir die angegebenen Ausnutzungswerte des Nährstoffvorrates für Stickstoff mit 60%, für Phosphorsäure mit 10% und für Kali mit 30% annehmen, so stellt sich das im Boden zur vollen Versorgung der Pflanzen notwendige Nährstoffverhältnis wie folgt:

Pflanzen	Stickstoff	Phosphorsäure	Kali
Getreide	1	3,0	2,0
Bohnen und Erbsen	1	1,6	0,8
Kartoffel	1	2,8	3,5
Rüben	1	2,2	3,0
Wiesenheu	1	2,3	1,1
Kleeheu	1	1,9	2,6

Diese Nährstoffe stammen aus dem ursprünglichen Bodenvorrat und der Düngung. Je nach den Nährstoffmengen, welche der Boden aus eigener Kraft den Pflanzen zur Verfügung stellen kann, ändert sich das

Verhältnis der Nährstoffe, die durch den Dünger zugeführt werden müssen, woraus von selbst folgt, daß ein starres Nährstoffverhältnis im zugeführten Dünger jede Wirtschaftlichkeit der Anwendung des Düngers ausschließt.

2. Einfluß der Düngemittel auf die Bodenreaktion

Auf eine Wirkung der künstlichen Düngemittel auf den Boden muß kurz hingewiesen werden, soweit sie für die Beurteilung der Düngemittel von Bedeutung ist. Das ist der Einfluß einzelner Düngemittel auf die Bodenreaktion, die Bodenversauerung; sie wird in der Bodenkunde eingehender besprochen werden. Es genügt hier die Grundlage dieser Vorgänge im Boden kennen zu lernen, soweit dabei die künstlichen Düngemittel beteiligt sind. Ohne Zweifel besteht in der Einwirkung der Säure auf den Boden eine große Gefahr für seine Fruchtbarkeit, weil dadurch nicht nur die chemische und physikalische Beschaffenheit beeinträchtigt, sondern auch die biologischen Vorgänge im Boden herabgesetzt werden. In ersterer Hinsicht besteht diese Wirkung auf den Boden in der stärkeren Lösung der Basen, sodaß die Bodenversauerung als eine Folge der Basenverarmung angesehen werden kann. Mit Recht sagt Kappen: „Von einer Bodenversauerung kann daher keine Rede sein, solange der kohlensaure Kalk den Basenverlust des Bodens decken kann.“ Diese Lösung der Bodenbasen wird durch gewisse Kunstdünger unterstützt. Schon A. Mayer hat im Jahre 1881 zumeist auf das verschiedene Verhalten der Düngersalze in dieser Hinsicht hingewiesen. Nach der Aufnahme des Nährstoffes durch die Pflanzen bleiben teils Säuren, teils Alkalien im Boden zurück, die von den Pflanzen nicht verwertet werden, es sei denn, daß alle Bestandteile des Düngers den Pflanzen als Nahrung dienen können. Letzteres ist z. B. beim Ammoniumnitrat der Fall; da sowohl der in Form von Ammoniak als in Form von Salpetersäure vorhandene Stickstoff in diesem Salze von den Pflanzen zum Aufbau ihrer Substanz verwertet werden kann, so bleibt davon kein Rest im Boden zurück, der auf den Boden einwirken könnte, man würde danach das Ammoniumnitrat als physiologisch neutral ansehen können. Es kommt aber dennoch eine saure Wirkung infolge der Nitrifikation des Ammoniaks in Frage, auf die ich nachher eingehen will. Ein Säurerest bleibt im Boden nach der Aufspaltung des schwefelsauren Ammoniaks zurück, nämlich freie Schwefelsäure, die sich zwar zunächst mit dem Kalk des Bodens in Gips umsetzen kann, aber bei der Zersetzung des Gipses oder bei Mangel an Kalk im Boden zur Wirkung kommen wird. Deshalb nennt man das schwefelsaure Ammoniak und die sich diesem Düngesalz gleich verhaltenden künstlichen Düngemittel physiologisch sauer. Wenn nun bei der Zersetzung des Natronsalpeters im Boden das alkalisch wirkende Natron

als Rest zurückbleibt, sobald der Stickstoff von den Pflanzen aufgenommen ist, so spricht man von physiologisch-alkalischen Düngemitteln. Die Umsetzungen der Düngesalze verlaufen im Boden nicht immer in dieser einfachen Weise; die Verschiedenheit der Zusammensetzung der Böden läßt ohne weiteres darauf schließen, daß diese Vorgänge sehr verschiedenartig sich abspielen und gewiß recht kompliziert sind. Wir wollen diese durch Düngesalze herbeigeführten Lösungsprozesse auch in anderer Hinsicht nicht unterschätzen; sie können nämlich für die Wirksamkeit der Beidünger von Bedeutung werden. Es wird darauf später noch einzugehen sein; als Beispiel hierfür will ich an dieser Stelle nur auf unsere frühere Feststellung hinweisen, daß durch Vermischen von Kainit mit Thomasmehl oder Knochenmehl die Wirkung der Phosphorsäure dieser Düngemittel erhöht worden ist.

Mit Untersuchungen über die Bodenversauerung hat sich seit Jahren H. Kappen besonders eingehend beschäftigt; nach seinen Feststellungen sind als physiologisch-saure Düngemittel anzusprechen: „schwefelsaures Ammoniak, salzsaures Ammoniak, Mischungen, welche diese Salze enthalten, wie Ammoniaksuperphosphat und Leunaphosphat, Kaliumchlorid, Kaliumsulfat, Magnesiumchlorid, Magnesiumsulfat, Kalziumchlorid, Kalziumsulfat, salpetersaures Ammoniak, phosphorsaures Ammoniak, Harnstoff.“ Wenn Kappen Harnstoff, Ammoniumphosphat und andere Ammoniaksalze zu den physiologisch-sauren Düngemitteln rechnet, so geht er dabei von der Ansicht aus, daß das bei der Zersetzung dieser Salze entstehende Ammoniak in Salpetersäure umgesetzt wird; er sagt: „Durch die Mikroorganismen der Nitrifikation wird aus dem Ammoniak Salpetersäure gebildet, die als ebenso starke Säure wie die Salzsäure den zeolithischen Silikaten und Humaten des Bodens zu ihrer eigenen Absättigung Basen entzieht und dadurch stark versauernd auf den Boden einwirken muß. Nach dem Ausfall neuerer Untersuchungen ist diese zweite Ursache der versauernden Wirkung der Ammoniaksalze (neben der ersten Ursache durch die abgespaltene Säure) nicht viel geringer einzuschätzen als die physiologische Zersetzung dieser Salze durch die Pflanzen.“ Hiernach würden also nicht nur alle Ammoniaksalze oder alle Ammoniak enthaltenden Dünger als physiologisch-sauer anzusehen sein, sondern auch diejenigen künstlichen Dünger, welche den Stickstoff ursprünglich in organischer Form enthalten, da dieser Stickstoff über die Ammoniakform ebenfalls in Salpetersäure übergeht. Kappen folgert aus seinen Untersuchungen, „daß die Reaktion, die ein Stoff von Haus aus besitzt, keineswegs als beweisend und ausschlaggebend für die Art seiner Wirkung auf den Boden aufgefaßt werden darf“. Erst die bei der Umsetzung desselben im Boden entstehenden Verbindungen bestimmen durch ihre Eigenschaften die physiologische Reaktion des Stoffes. Dieses zeigt sich besonders beim Superphosphat, welches infolge seiner Zu-

sammensetzung durch das Monokalziumphosphat und die freie Phosphorsäure sauer reagiert, aber dennoch auf den Boden nicht versauernd wirkt, weil die saure Reaktion durch Phosphorsäure hervorgerufen wird, welche sich nicht nur mit Kalk, sondern auch mit Eisenoxyd und Tonerde, Verbindungen, die stets im Boden vorhanden sind, zu nicht sauren Salzen verbindet. Dazu kommt, daß durch diese Bindung der Tonerde bezw. des Aluminiums, dessen Austausch mit anderen Bodenbestandteilen zur Bodenversauerung führt, letzterer entgegengearbeitet wird. Hiernach gehört also das Superphosphat nicht zu den physiologisch-sauren Düngemitteln.

Unter den physiologisch-sauren Düngemitteln stehen an erster Stelle schwefelsaures Ammoniak und salzsaures Ammoniak; sie wirken sowohl durch die freiwerdende Schwefelsäure bezw. Salzsäure, wie auch durch das nitrifizierte Ammoniak, die Salpetersäure. So erklärt sich auch, daß, wie oben angegeben wurde, Ammonnitrat zu den physiologisch-sauren Düngemitteln zählt, während es früher als physiologisch-neutral angesehen wurde. Auch die Kalisalze sind als physiologisch-sauer anzusprechen, aber sie wirken doch in geringerem Grade bodenversauernd, als die erstgenannten Ammoniaksalze, weil nur der Säurerest in dieser Richtung wirkt, die Base, das Kali hier aber von den Pflanzen ohne weitere Umsetzungen im Boden aufgenommen wird.

Der Einfluß dieser etwaigen Versauerung des Bodens durch die Einwirkung von Düngesalzen ist für die Entwicklung der Pflanzen von besonderer Bedeutung. Dabei ist wichtig, daß die Pflanzen eine verschiedene Empfindlichkeit gegen die Bodensäuren zeigen. Hasenbäumer hat die Pflanzen hiernach in folgender Weise gruppiert:

Pflanzenart	Kalkbedarf der Pflanzen	Pflanze gedeiht noch auf Boden, welcher ist
Spörgel	gering	stark sauer
Lupine	„	desgl.
Serradella	„	„
Buchweizen	„	mäßig sauer
Kartoffel	mittel	schwach sauer
Hafer	„	neutral bis schwach sauer
Roggen	„	desgl.
Grasarten	„	„
Gerste	„	„
Weizen	„	„
Senf	stark	nur schwach alkalisch bis neutral
Bohnen	„	desgl.
Erbsen	„	„
Rüben	„	„
Klee	„	„
Luzerne	„	„

Die Einteilung der Pflanzen gibt uns einen Anhalt dafür, welche Düngemittel wir für diese Pflanzen in erster Linie zu berücksichtigen haben. Man wird bei den Pflanzen, deren Wachstum durch mehr oder weniger Säure nicht beeinflußt wird, die Verwendung der physiologisch-sauren Düngemittel nicht so sehr zurückzustellen brauchen und auch für die Pflanzen, welche eine neutrale bis schwach alkalische Bodenreaktion lieben, nur dann die physiologisch-alkalischen Düngemittel bevorzugen müssen, wenn der Gehalt an Kalk im Boden nicht hoch ist. Wo reichlich Kalk im Boden vorhanden ist, braucht man auch bei Anwendung physiologisch-saurer Düngemittel bei den zuletzt aufgeführten Pflanzen eine Schädigung durch Bodensäure nicht zu fürchten. Im übrigen wird die versauernde Wirkung der verschiedenen Düngesalze auch sehr davon abhängen, in welcher Weise die Pflanzen das Chlor oder die Schwefelsäure in Anspruch nehmen; da wo dieses in stärkerem Grade der Fall ist, wird die versauernde Wirkung des Düngers auf den Boden sich weniger bemerkbar machen.

3. Stickstoffdünger

a) Stickstoffbedarf der Kulturböden

Der Stickstoffbedarf unserer Kulturböden ist sehr groß; wir müssen auf allen Böden, vielleicht abgesehen von den anmoorigen Böden, mit der Notwendigkeit der Stickstoffdüngung rechnen. Nach den früheren Angaben ist der Stickstoffverbrauch im letzten Jahrzehnt von 6 kg auf 13,8 kg je ha gestiegen. M. Gerlach berechnet, daß gut bewirtschaftete Güter 16,5—46 kg Stickstoff verwenden; der Verbrauch schwankt also auch hier außerordentlich, ist aber im Durchschnitt erheblich höher als der für Deutschland berechnete durchschnittliche Verbrauch. Dieses zeigt uns, daß wir die Anwendung der Stickstoffdünger noch erheblich steigern müssen, wenn wir unsere Durchschnittserträge auf die gleiche Höhe wie diese Güter bringen wollen. Dabei ist zu beachten, daß der Stickstoff sich in seiner Wirkung von allen Nährstoffen am deutlichsten in dem Aussehen der Pflanzen zu erkennen gibt und dadurch die Notwendigkeit seiner Zufuhr mehr wie bei den anderen Nährstoffen in die Erscheinung tritt, also die Neigung bestehen wird, gerade mit Stickstoff in erster Linie zu düngen. Dadurch kann leicht eine Überschätzung der Notwendigkeit der Stickstoffdüngung eintreten. Es ist immer zu beachten, daß die Menge und Güte des Ertrages nicht allein von der Stickstoffernährung der Pflanzen, sondern von dem Vorhandensein aller Nährstoffe im richtigen, dem Boden und den Pflanzen angepaßten Verhältnis abhängt.

b) Stickstoffbedürfnis der Pflanzen

Der Stickstoffverbrauch unserer Kulturpflanzen ist verschiedentlich geschätzt worden. Natürlich haftet solchen Schätzungen immer eine gewisse Unsicherheit an; sie können nur einen ungefähren Anhalt dafür geben. Vielleicht kommt man den tatsächlichen Verhältnissen mit 1 Million Tonnen leicht löslichen Stickstoffs nahe. Der Boden versagt bei der vollständigen Deckung dieses Bedarfes, obwohl er uns nach den Berechnungen von Ehrenberg aus dem in Stallmist zugeführten und in Wurzeln und Stoppeln enthaltenen Mengen 35 kg je ha zur Verfügung stellt; wo die Aufschließung des Bodenstickstoffs besonders gefördert wird, wie im Brachland, soll nach den Untersuchungen von W. Krüger und B. Heinze diese Menge sogar auf 85 kg steigen. Auch die mit den atmosphärischen Niederschlägen aus der Luft in den Boden gelangenden Mengen gebundenen Stickstoffs liefern nur einen geringen Beitrag zur Deckung des Stickstoffbedarfes; im Mittel mehrjähriger Versuche wurden an der hiesigen Versuchsanstalt 14,25 kg Stickstoff je ha und Jahr festgestellt, eine Zahl, welche sich nahezu mit der Menge deckt, die von J. König auf Grund der von den preußischen Versuchsstationen in den Jahren 1864/65 getroffenen Feststellungen errechnet wurden, nämlich 14,10 kg Stickstoff je ha und Jahr bei einer mittleren Regenhöhe von 700 mm. Anderwärts sind geringere Werte gefunden (vergl. Bd. I, S. 176). Wir können weiter aus dem großen Vorrat der Luft an freiem Stickstoff schöpfen, indem wir einmal seine Ausnutzung durch Gründüngung fördern und ihn uns weiter dadurch erschließen, daß wir durch richtige Bodenbearbeitung und Düngung mit organischen Düngemitteln für eine gute Bodengare und damit für das Gedeihen der im Boden freilebenden stickstoffsammelnden Bakterien sorgen. Aus der eigenen Wirtschaft haben wir in Stallmist, Jauche und Kompost je nach der Vollkommenheit, in der uns die Erhaltung des Stickstoffs in diesen Düngern gelingt, mehr oder weniger Stickstoff für die Ernährung unserer Pflanzen zur Verfügung. Über alle diese Stickstoffquellen ist bereits früher eingehend berichtet worden. Sie genügen nicht, um den Stickstoffbedarf unserer Pflanzen, wie er oben angegeben wurde, vollständig zu decken, vielmehr müssen wir hierzu noch erhebliche Mengen stickstoffhaltiger Kunstdünger einführen, wenn wir Höchsterträge erreichen wollen. Welche Mengen hierbei in Frage kommen können, zeigen uns Berechnungen, die P. Wagner auf Grund seiner Versuchsergebnisse durchgeführt hat; sie geben uns einen guten Anhalt für unser Urteil. Bei diesen Zahlen ist von Salpeterstickstoff ausgegangen, so daß, wenn der Stickstoff in anderer Bindungsform gegeben wird, eine dem abweichenden Ausnutzungsgrad entsprechende Änderung dieser Stickstoffmenge eintreten muß. Nach diesen Berechnungen Wagners sind zur Erzeugung von je 100 kg Körnern mit zugehörigem Stroh bei

den Getreidearten und je 1000 kg Hackfrüchten mit entsprechendem Laub an Salpeterstickstoff nötig bei: Gerste 3 kg, Hafer 3,7 kg, Weizen und Roggen je 5 kg, Zuckerrüben 2,4 kg, Futterrüben 2,9 kg, Möhren 3 kg, Kartoffeln 4,3 kg.

c) Wirkung der verschiedenen Stickstoffdünger

Die stickstoffhaltigen künstlichen Düngemittel enthalten den Stickstoff teils in organisch gebundener Form, teils als Ammoniak, teils als Salpetersäure. Diese Salpetersäureform ist für die Ernährung der Pflanzen die wertvollste Form, weil die meisten Pflanzen den Stickstoff nur in dieser Form aufnehmen. Abweichungen fehlen nicht. W. Krüger kommt auf Grund seiner Versuche zu folgender Ansicht darüber: „1. Senf, Hafer und Gerste scheinen sich den beiden Stickstoffquellen — Ammoniak und Salpetersäure — gegenüber gleich zu verhalten, und zwar derartig, daß sich dieselben für ihre Ernährung gleichwertig erweisen. 2. Kartoffel scheint das Ammoniak als Stickstoffquelle der Salpetersäure vorzuziehen, jedenfalls aber steht das erstere der letzteren Stickstofform in der Wirkung keineswegs nach. 3. Rübe bevorzugt ganz entschieden die Salpetersäure als Stickstoffquelle und verwertet sie besser als Ammoniak — besonders wird hier die Entwicklung des Wurzelkörpers durch die Gegenwart der Salpetersäure gefördert. 4. Wenn sich trotz der unter 1 und 2 angegebenen Folgerungen die Anwendung des Ammoniaks in der Praxis gegenüber derjenigen der Salpetersäure häufig als minder wirksam erweist, so ist dies wohl weniger auf den ungleichen physiologischen Wert der beiden Stickstoffquellen, als vielmehr auf Umstände anderer Art, unter denen mikrobiologische Vorgänge im Boden wohl in erster Linie zu nennen sind, zurückzuführen. 5. Fast alle sterilen Gefäße geben bei Düngung mit löslichen Stickstoffverbindungen eine geringere Ernte oder unter Berücksichtigung der Erträge der Gefäße ohne Stickstoffdüngung keine entsprechende Mehrernte. Auch diese Erscheinung dürfte ihren Grund in mikrobiologischen Vorgängen haben.“ Wenn hiernach auch anzunehmen ist, daß einzelne Pflanzen den Ammoniakstickstoff unmittelbar zu ihrer Ernährung verwenden können, so dürfen wir doch feststellen, daß für gewöhnlich die Nitrifikation des Ammoniakstickstoffs die Vorbedingung für die Stickstoffaufnahme durch die Pflanzen ist. Daraus folgt, daß der Stickstoff in Form von Salpetersäure im allgemeinen am schnellsten wirkt, daß daher die Wirkung um so langsamer erfolgt, je länger die Umwandlung des Düngerstickstoffs in Salpetersäure dauert. Dieses ist bei der Beurteilung des Düngewertes der stickstoffhaltigen künstlichen Düngemittel zu berücksichtigen.

Die Bodenart, die Zusammensetzung des Bodens, sein Wassergehalt, seine Durchlüftung und Erwärmung sind wesentliche Faktoren für den schnelleren oder langsameren Verlauf der Nitrifikation im Boden. Daraus

folgt schon, daß die Umwandlung des organischen oder Ammoniakstickstoffs in Nitratstickstoff nicht überall gleichmäßig verlaufen wird. Deshalb kann auch das Wirkungsverhältnis der Stickstofformen sich ändern, sobald die Bodenverhältnisse andere geworden sind. Die für dieses Wirkungsverhältnis angegebenen Zahlen können daher hierfür immer nur einen allgemeinen Anhalt gewähren. O. Nolte gibt hierfür folgende Zahlen an; wenn die Wirkung des Nitratstickstoffs = 100 gesetzt wird, so ist die Wirkung des Stickstoffs in: Ammonsulfat = 95, Kalkstickstoff = 80, Blutmehl = 70, Hornmehl = 65, Wollstaub = 25, Ledermehl = 25. Auf Abweichungen und Ergänzungen komme ich später bei einzelnen Düngemitteln zurück.

Im übrigen verweise ich auf die Ausführungen in Bd. I, S. 170.

d) Besondere Wirkungen des Stickstoffs auf die Pflanzen

Die Annahme, daß die Stickstoffdüngung einen großen Einfluß auf den Proteïngehalt der Pflanzen hat, ist nicht immer richtig. Es wird dabei sehr darauf ankommen, ob einseitig stark mit Stickstoff gedüngt wurde oder in dem für die Pflanzen verfügbaren Nährstoffvorrat alle für die Ernährung notwendigen Stoffe in dem für Boden und Pflanzen passenden Verhältnis vorhanden waren. Im ersteren Falle kann eine Anreicherung der Pflanzen mit Stickstoff eintreten, ohne daß der Ertrag entsprechend der stärkeren Stickstoffdüngung gestiegen ist; infolgedessen kann trotz des höheren Prozentgehaltes an Stickstoff die Gesamtmenge an Stickstoff in der Ernte zurücktreten. Auch der Zeitpunkt der Ernte ist dabei nicht ohne Einfluß. Besonders wichtig ist aber die Witterung, vor allem die Menge der Niederschläge. Darüber liegen eingehende Untersuchungen von v. Seelhorst vor, welche uns zeigen, daß der Stickstoffgehalt des Kornes und Strohes bei Stickstoffdüngung geringer ist, wenn viel Wasser vorhanden war. Umgekehrt ist es bei Phosphorsäure und Kali gewesen, worauf hier im Zusammenhang hingewiesen werden soll. Der Phosphorsäuregehalt in Korn und Stroh hat mit der Vermehrung des für die Ernährung der Pflanzen verfügbaren Wassers zugenommen, doch ist die Änderung nur gering. Auch bei Kali hat die vermehrte Wasserzufuhr zu einer Erhöhung des Kaligehaltes geführt; besonders tritt dieses beim Stroh hervor. Th. Pfeiffer faßt das Ergebnis seiner gleichlautenden Versuche in folgender Weise zusammen: „Die Pflanzen haben von dem am leichtesten löslichen Stickstoff schon bei der niedrigsten Wassergabe verhältnismäßig große Mengen aufzunehmen vermocht. Die Phosphorsäure ist umgekehrt am schwersten löslich; bei ihr kommen daher steigende Wassergaben am stärksten zur Wirkung. Das Kali nimmt zwischen den beiden Nährstoffen eine mittlere Stellung ein. Der gleiche Boden kann daher im trockenen Jahr für eine Phosphordüngung dankbar sein, während er ihrer im regnerischen

Jahr vielleicht gar nicht bedarf.“ Es unterliegt darnach keinem Zweifel, daß der Wasservorrat des Bodens auf die Aufnahme der Nährstoffe durch die Pflanzen einen großen Einfluß ausübt. Auch unsere Versuche über die Beziehungen zwischen Bodenfeuchtigkeit, Pflanzenentwicklung und Nährstoffaufnahme beweisen es. Dieser Einfluß des Wassers auf die Nährstoffaufnahme durch die Pflanzen kann nicht scharf genug hervorgehoben werden; wenn er die notwendige Berücksichtigung findet, wird mancher Fehlschluß über die Ernährung der Pflanzen, bei dem von der von den Pflanzen aufgenommenen Nährstoffmenge ausgegangen wird, vermieden werden.

Die Stickstoffdüngung übt einen großen Einfluß auf die Blattentwicklung der Pflanzen aus. Besonders wenn dazu noch ungünstige Witterung tritt, d. h. viel Regen sich einstellt, wird die Blattentwickelung stark sein. Hellriegel hat darauf besonders hingewiesen. Dieser für den Ertrag nachteilige Einfluß macht sich vor allem bei übermäßig starker Anwendung des Salpeterstickstoffs bemerkbar; er ist in geringerem Grade zu fürchten, wenn Stickstoffdünger Verwendung finden, welche den Stickstoff in einer langsamer wirkenden Bindungsform enthalten, so daß der Stickstoff nach und nach zur Wirkung kommt und diese Wirkung mit derjenigen der anderen Nährstoffe parallel geht; mit anderen Worten: die nachteilige Wirkung starker Stickstoffdüngungen wird zurückgedrängt, wenn nicht eine einseitige Versorgung der Pflanzen mit Stickstoff erfolgt, sondern alle Nährstoffe den Pflanzen in ausreichender Menge zur Verfügung stehen.

Diese rechtzeitige und ausreichende Beidüngung mit Phosphorsäure, Kali und Kalk ist auch für die Stickstoffdüngung der Zuckerrüben wichtig; fehlt sie, so wird die Verschlechterung der Qualität der Rübe die Folge sein; die Erntezeit wird hinausgeschoben und dadurch der Zuckergehalt der Rübe gestört.

Gleiches gilt für den Stärkegehalt der Kartoffel. Wenn der Stickstoff neben Stallmist gegeben wird, liegt diese Gefahr weniger oder gar nicht vor. Aber in anderer Hinsicht kann eine starke Stickstoffdüngung nachteilig wirken, indem nämlich dadurch der Pflanzwert der Kartoffeln, d. h. die Brauchbarkeit als Saatgut beeinträchtigt wird. Lintner glaubt, daß für den Pflanzwert der Kartoffeln das Verhältnis des Amid- und Eiweißstickstoffs zur Stärke von Bedeutung ist und der Pflanzwert um so höher ist, je mehr Amide vorhanden sind. Hiermit würde die Beobachtung im Einklang stehen, daß nicht ganz ausgereifte Kartoffeln das beste Saatgut abgeben, weil diese mehr Amidstickstoff enthalten. Es erscheint nun aber zunächst fraglich, ob durch eine starke Stickstoffdüngung das Verhältnis von Eiweiß- und Amidstickstoff in der Kartoffel in dem von Lintner angenommenen Sinne beeinflußt wird; die bisherige Annahme, daß übermäßig starke

und vor allem einseitige Stickstoffdüngung die Gewinnung guter Saatkartoffeln beeinträchtigt, ist durch viele Beobachtungen als zutreffend bestätigt worden. Auch die Haltbarkeit der Kartoffeln leidet durch eine solche Stickstoffdüngung.

Für die Stickstoffdüngung allgemein kommen alle Pflanzen in Betracht; selbst für Leguminosen, welche sich mit Hilfe der Wurzelknöllchenbakterien den freien Stickstoff der Luft dienstbar machen können, kann eine schwache Stickstoffgabe insofern von Nutzen sein, als durch den Stickstoff des Düngers das Wachstum der Pflanzen gefördert wird und die Pflanzen bald in der Lage sind, den Luftstickstoff in stärkerem Grade auszunutzen. Die Leguminosen verwerten auch stärkere Stickstoffgaben und lohnen sie durch Mehrerträge, aber sie lassen dann in der Aneignung des Luftstickstoffs nach. Da letzterer aber kostenlos zur Verfügung steht, so würde in der verminderten Ausnutzung dieser kostenfreien Stickstoffquelle und in dem Ersatz durch anzukaufenden Stickstoffdünger eine Schmälerung der Rente aus dem Anbau der Leguminosen liegen. Deshalb ist die Verwendung von Stickstoffdüngern zu Leguminosen zu beschränken.

Der Einfluß der Zeit der Ernte auf den Stickstoffgehalt der Pflanzen ist besonders für die Beurteilung der Stickstoffdüngung der Wiesen wichtig. Nur da, wo es möglich ist, das Gras zeitig, also im jugendlichen Zustande zu schneiden, wird man nach einer Stickstoffdüngung ein Gras mit einem hohen Gehalt an leichtverdaulichem Stickstoff ernten. Wo der Schnitt des Grases nicht zeitig genug erfolgen kann, ist der Erfolg der Stickstoffdüngung immer mehr oder weniger in Frage gestellt, vor allem auch hinsichtlich der Rentabilität. Anders ist es auf Weiden, wo die Tiere selbst dafür sorgen, daß das Gras nicht zu alt, damit zu hart wird und seine Nährstoffe, insbesondere die Stickstoffverbindungen, unverdaulicher werden. Hier wird sich eine Stickstoffdüngung immer lohnen, wenn die Vorbedingungen für eine gute Wirkung, d. h. genügender Vorrat der übrigen Pflanzennährstoffe, gute Bodenbearbeitung und Pflege der Pflanzen, erfüllt sind. Auf Wiesen sowohl wie auf Weiden wird die fortgesetzte Stickstoffdüngung zu einem Verschwinden der Leguminosen führen und damit die durch die Wurzelknöllchenbakterien dieser Pflanzen erschlossene kostenlose Stickstoffquelle des freien Luftstickstoffs versiegen. Je mehr dieses aber der Fall ist, desto mehr wird sich die Notwendigkeit der Zufuhr künstlicher Stickstoffdünger erweisen; in gleichem Maße wird aber auch die Rentabilität beeinträchtigt.

e) Gewinnung künstlicher Stickstoffdünger

Die Versorgung der Landwirtschaft mit Stickstoffdünger hat gegenüber früher dadurch eine wesentliche und besonders für Deutschland glückliche Wendung erfahren, daß es gelungen ist, den freien Stickstoff der Luft

chemisch zu binden. Während wir früher, abgesehen von den organischen stickstoffhaltigen Abfällen wie Blutmehl, Hornmehl, Ledermehl, Knochenmehl usw., in der Hauptsache auf Chilisalpeter und das aus Gasanstalten und Kokereien stammende schwefelsaure Ammoniak angewiesen waren, also auf Dünger, welche nur in begrenzten Mengen vorhanden waren, verfügen wir heute durch die chemische Bindung des freien Luftstickstoffs in unbeschränktem Grade über Stickstoffdünger, welche in ihrer Zusammensetzung und Wirkung den genannten bisherigen Hauptvertretern der künstlichen Stickstoffdünger gleich sind oder leicht in diese Verbindungsformen übergeführt werden können. Bei der Bedeutung, welche diese Stickstoffdünger, die aus dem Luftstickstoff gewonnen werden, heute für unsere Landwirtschaft haben, will ich die Gewinnung dieser Stickstoffdünger voranstellen.

a) Herstellung von Stickstoffdünger durch chemische Bindung des Luftstickstoffs. Die Verfahren gehen in der Hauptsache nach drei Richtungen, nämlich:

1. Eine Überführung des freien Luftstickstoffs mittels des elektrischen Lichtbogens in Nitrat;

2. Überleiten des von dem Sauerstoff der Luft getrennten Luftstickstoffs über Kalziumkarbid zur Gewinnung von Kalkstickstoff;

3. Herstellung von Ammoniak durch Bindung von Stickstoff und Wasserstoff.

Andere Verfahren, so auch die Bindung des Stickstoffs an Metalle haben keine besondere Bedeutung erlangt.

1. Die Bindung des freien Luftstickstoffs mittels des elektrischen Lichtbogens wurde zuerst in Norwegen nach dem Verfahren von Birkeland und Eyde durchgeführt. Damit wurde die schon im Jahre 1786 von H. Cavendish erkannte Tatsache der chemischen Bindung von Stickstoff und Sauerstoff mit Hilfe des elektrischen Stromes fabrikmäßig ausgenutzt. Das Verfahren besteht darin, daß durch einen elektrischen Flammenbogen Luft geblasen wird und sich bei der darin vorhandenen hohen Temperatur von 3000° Stickstoff und Sauerstoff zu Stickstoffoxyd verbinden. Um zu verhindern, daß letzteres sich wieder zersetzt, werden die abströmenden Gase abgekühlt, durch den Sauerstoff überschüssiger Luft weiter oxydiert und schließlich die nitrosen Gase in Rieseltürmen Wasser entgegengeführt, wobei sich Salpetersäure bildet. Aus dieser Salpetersäure erhält man durch Zusatz von kohlensaurem Kalk eine Lösung von Kalziumnitrat, die in Pfannen eingedampft wird; dabei kristallisiert Kalziumnitrat aus. Der so erhaltene Kalksalpeter, nach dem Ursprungsland zuerst Norgesalpeter genannt, ist sehr hygroskopisch. Um den Einfluß der Hygroskopizität des Kalksalpeters auf die Haltbarkeit desselben zu mildern, wird ein Überschuß von Kalk zugesetzt. Man will dasselbe Ziel auch dadurch erreichen

können, daß man den Wassergehalt des Kalksalpeters durch Schmelzen herabsetzt.

Nach dem Verfahren von Schlösing wurden die nitrosen Gase auf Kalkhydrat geleitet, wodurch man ein Fabrikat, Schlösingsalpeter genannt, mit überschüssigem Kalk erhält; dieser Kalksalpeter, der 12 bis 13% Stickstoff enthält, hat keine praktische Bedeutung erlangt.

Das Verfahren von Schönherr, welches von der Badischen Anilin- und Sodafabrik ausgenutzt wird, unterscheidet sich im wesentlichen von dem Verfahren von Birkeland und Eyde dadurch, daß die Oxydation des Luftstickstoffs nicht in einem Flammenbogen, sondern in einer elektrischen Lichtsäule erfolgt. Die nitrosen Gase werden durch Kalk oder Soda absorbiert und dabei wird hauptsächlich Kalk- und Natriumnitrit erhalten. Erfolgt die Absorption durch Wasser, so erhält man wieder wie vorher Salpetersäure.

Auch bei dem Verfahren von Pauling liegt der Unterschied in der Art der Anwendung der Elektrizität; die Oxydation des Luftstickstoffs erfolgt im elektrischen Lichtbogen nach dem Prinzip der Hörnerblitzableiter.

2. Das Ausgangsmaterial für die Herstellung des Kalkstickstoffs ist Kalziumkarbid, auf das im glühenden Zustande bei 1050—1080° Stickstoffgas einwirkt. Bei einem Zusatz von Chlorkalzium nach dem Verfahren von Polzenius verläuft die Reaktion bei etwa 700°; der nach diesem Verfahren erhaltene Dünger wurde Stickstoffkalk genannt. Heute ist die Fabrikation von Kalkstickstoff und Stickstoffkalk vereinigt. Der erforderliche Stickstoff wurde ursprünglich durch Überleiten von Luft über glühendes Kupfer hergestellt. Heute leitet man nach dem Verfahren von Frank-Caro Generatorgas über ein glühendes Gemisch von Kupfer und Kupferoxyd; das vorhandene Kohlenoxyd wird zu Kohlensäure oxydiert und der Sauerstoff durch das Kupfer gebunden, sodaß reiner Stickstoff übrigbleibt. Ein anderes Verfahren zur Gewinnung von Stickstoff ist das Verfahren von Linde durch fraktionierte Destillation von flüssiger Luft.

Wenn auf Kalkstickstoff überhitzter Wasserdampf einwirkt, so entsteht Ammoniak, das in Schwefelsäure aufgefangen, Ammonsulfat gibt. Durch Einwirkung von Kohlensäure und Wasser auf Kalkstickstoff entsteht Cyanamid, welches durch Wasser in Harnstoff umgewandelt wird; der Verlauf dieser Reaktion ist folgender:

$$CaCN_2 + CO_2 + H_2O = CaCO_3 + CNNH_2$$
$$CNNH_2 + H_2O = NH_2 \cdot CO \cdot NH_2.$$

Nach den Feststellungen von Immendorf und Kappen verläuft diese Reaktion am besten bei der Anwendung von Mangansuperoxyd als Katalysator.

Im Anschluß sei hier noch das Verfahren von Serpek angeführt, bei welchem die Bindung des Stickstoffs an Aluminium erfolgt. Dieses Verfahren ist hauptsächlich in Frankreich angewendet worden, scheint aber die daran geknüpften Hoffnungen nicht erfüllt zu haben. Man stellt dabei zunächst durch Zusammenschmelzen von Tonerde (Bauxit) und Kohle bei 2000° Aluminiumkarbid her, leitet darüber Stickstoff und erhält Aluminiumnitrid bei Erhitzung auf 1600° im Elektrodrehofen. Durch die Einwirkung von Wasser zerfällt das Aluminiumnitrid in Ammoniak und Aluminiumoxydhydrat. Die Reaktion verläuft in folgender Weise:

$$Al_2O_3 + 3C + 2N = 2AlN + 3CO$$
$$2AlN + 6H_2O = 2NH_3 + 2Al(OH)_3.$$

Dieses Verfahren hat ebenso wie andere Nitridverfahren keine praktische Bedeutung erlangt.

3. Die Ausnutzung des Luftstickstoffs zur Gewinnung von Ammoniak durch unmittelbare Vereinigung von Stickstoff und Wasserstoff ist zuerst nach dem Verfahren von Haber und Bosch technisch durchgeführt worden; mit diesem Verfahren hat die Ausnutzung des Luftstickstoffs zur Herstellung künstlicher Düngemittel die heutige Bedeutung gewonnen. Das Verfahren wurde im Jahre 1910 von Haber bekannt gegeben und hat seit dieser Zeit Ergänzungen und Verbesserungen erfahren. Danach verbinden sich Wasserstoff und Stickstoff bei einer Temperatur von 600° und einem Druck von 200 Atmosphären unter Anwendung von Katalysatoren. Bosch hat sich vor einiger Zeit über die Ausführung dieses Verfahrens wie folgt geäußert: „Um das zur Ammoniakbildung nötige Gemisch von Stickstoff und Wasserstoff zu gewinnen, wird durch glühenden Koks ein Gemisch von Luft und Dampf geleitet. Es entsteht ein Gasgemisch, das in der Hauptsache aus Stickstoff, Wasserstoff und Kohlenoxyd zusammengesetzt ist. Dieses wird zunächst von teerigen und staubförmigen Verunreinigungen durch Waschen befreit und kommt dann in einen Kontaktofen, in welchem das Kohlenoxyd durch Umsetzung mit Dampf unter nochmaliger Gewinnung von Wasserstoff in Kohlensäure verwandelt wird. Man hat jetzt ein Gemisch von Stickstoff und Wasserstoff im richtigen, gegenseitigen Verhältnis, das noch Kohlensäure und Spuren von Kohlenoxyd enthält. Man entfernt nun diese beiden Beimischungen durch Auswaschen, was für erstere unter einem Druck von 25 Atmosphären, für letzteres bei dem endgültigen Druck von 200 Atmosphären geschieht. Das reine Stickstoff-Wasserstoffgemisch tritt nun unter dem hohen Druck in die Fabrikation ein. In mächtigen Rohren, die den schweren Anforderungen genügen müssen, nämlich gleichzeitig gegen die hohen Drucke, die hohen Temperaturen und den chemischen Angriff der Gase widerstandsfähig zu sein, wird das Gemisch über den Katalysator geleitet, wobei ein kleiner Teil des

Gemisches in Ammoniak übergeht. Die Hauptmenge bleibt unverändert und muß nach Entfernung des Ammoniaks und Zusatz frischen Gases immer wieder über den Katalysator geleitet werden, wobei jedesmal wieder ein Bruchteil in Ammoniak übergeht. Es ist daher eine Umlaufpumpe vorgesehen, die das Gas immer von neuem im Kreislauf durch das Rohr mit dem Katalysator leitet. In allen Operationen wird der herrschende hohe Druck beibehalten." Bei der großen Bedeutung dieses Verfahrens erschien es mir wichtig, die Beschreibung desselben nach den Angaben des einen Erfinders wörtlich wiederzugeben.

Das erhaltene Ammoniak ist das Ausgangsprodukt zur Herstellung von Erzeugnissen, welche als Düngemittel Verwendung finden. Durch Einleiten des Ammoniaks in Schwefelsäure erhält man das schwefelsaure Ammoniak. Dieses Salz kann auch durch Einwirkung von Ammoniak, Kohlensäure und Gips hergestellt werden; neben dem Ammonsulfat bildet sich hierbei kohlensaurer Kalk nach folgender Gleichung:

$$CaSO_4 + 2\,NH_3 + CO_2 + H_2O = (NH_4)_2SO_4 + CaCO_3.$$

Die Ammonsulfatlösung wird von dem unlöslichen kohlensauren Kalk durch Filterpressen getrennt und in Vakuumapparaten eingedampft. Der kohlensaure Kalk findet als Düngekalk Verwendung; er enthält 70—75% Kalziumkarbonat und 20—26% Wasser.

Durch Einwirkung von Ammoniak und Kohlensäure auf Chlornatrium erhält man Chlorammonium oder salzsaures Ammoniak, welches als Düngemittel zu gebrauchen ist, aber doch dem schwefelsauren Ammoniak in der Anwendung nachsteht.

Von großer Bedeutung ist die Oxydation des Ammoniaks zu Salpetersäure, welche zwar nicht als solche zu Düngezwecken dient, aber doch wieder die Grundlage für die Herstellung von Düngemitteln abgibt. Diese Ammoniakoxydation erfolgt durch Verbrennung des Ammoniaks mit im Überschuß zugeführtem Luftsauerstoff unter Anwendung geeigneter Katalysatoren bei einer Temperatur von 500—600°. Die verschiedenen Verfahren für diese Umwandlung des Ammoniaks in Salpetersäure unterscheiden sich im wesentlichen durch die verwendeten Katalysatoren. W. Oswald verwendet als Katalysator Platinblech, die Badische Anilin- und Sodafabrik Eisenoxyd oder Eisenoxyd mit einem Zusatz von Wismut oder Tellur u. s. f. Das entstehende Stickstoffoxyd wird durch den im Überschuß vorhandenen Sauerstoff in Stickstoffdioxyd umgewandelt, aus dem sich durch Polymerisation Stickstofftetraoxyd bildet und außerdem noch Stickstofftrioxyd entsteht. Werden diese nitrosen Gase in Türmen herabrieselnden Lösungen von Natriumkarbonat (Soda) oder Kaliumkarbonat (Pottasche) oder Kalkmilch entgegengeführt, so erhält man Natronsalpeter, Kalisalpeter oder Kalksalpeter. Kalisalpeter kann nach dem Verfahren von Hampel auch durch Ein-

wirkung von Salpetersäure auf schwefelsäurehaltige Kalirohsalze gewonnen werden; wird dabei gleichzeitig Ammoniak zugeführt, so erhält man zugleich schwefelsaures Ammoniak.

Wenn die Salpetersäure durch Ammoniak, welches in dem Reaktionsgemisch vorhanden ist und eingeleitet wird, neutralisiert wird, erhält man Ammonnitrat oder Ammonsalpeter. Dieses Salz war eine Zeitlang als Düngemittel im Handel, wurde aber, da es sehr explosiv ist, bald nicht mehr im unvermischten Zustande abgegeben, sondern mit anderen Düngemitteln oder anderen Stoffen gemischt, um dadurch die Explosionsgefahr zu beseitigen. Man erhält durch Beimischung von Chlorkalium den Mischdünger Kaliammonsalpeter, durch Vermischen von schwefelsaurem Ammoniak mit Ammonsalpeter den sogen. Leunasalpeter oder Ammonsulfatsalpeter, welche beiden Gemische wohl in der Hauptsache Anwendung als Düngemittel gefunden haben. Letzteres ist nur vorübergehend der Fall gewesen bei Mischungen aus Ammonnitrat mit Gips, Knochenmehl oder Kochsalz. Auf diese Düngemittel werde ich deshalb nicht weiter zurückkommen; ich beschränke mich darauf, den Gehalt an Stickstoff anzugeben; er war bei Gipsammonsalpeter rund 20%, bei Knochenmehlammonsalpeter 32%, bei Natronammonsalpeter 19%.

Durch Erhitzen von Kohlendioxyd und Ammoniak auf 150° und bei 50 Atmosphären Druck erhält man zunächst karbaminsaures Ammoniak, welches nach Abgabe von einem Molekül Wasser in Harnstoff übergeht nach der Gleichung:

$$2\,NH_3 + CO_2 = NH_2 \cdot CO \cdot O \cdot NH_4$$
$$NH_2 \cdot CO \cdot O \cdot NH_4 = NH_2 \cdot CO \cdot NH_2 + H_2O.$$

Trotz seiner guten Brauchbarkeit hat Harnstoff als Düngemittel in dem landwirtschaftlichen Betrieb keine ausgedehnte Anwendung gefunden und wird vielleicht wegen des hohen Stickstoffgehaltes (46%) dieses auch in Zukunft nicht der Fall sein; er wird hauptsächlich als Gartendünger verwendet und zur Ausfuhr dienen.

Durch Einwirkung von Harnstoff auf Salpetersäure erhält man den salpetersauren Harnstoff, welcher heute auch nicht mehr als Düngemittel in Frage kommt.

Dem Verfahren von Haber-Bosch steht das Mont-Cenis-Verfahren (so benannt nach der Zeche Mont-Cenis, auf der das Verfahren von Uhde zuerst ausgeführt wurde) nahe. Der Unterschied der beiden Verfahren liegt im wesentlichen darin, daß bei dem Mont-Cenis-Verfahren mit einer Temperatur unter 450° und mit einem Druck von 50 Atmosphären die Vereinigung von Stickstoff und Wasserstoff erreicht wird, während nach dem Haber-Bosch-Verfahren, wie schon gesagt wurde, eine Temperatur von 600° und ein Druck von 200 Atmosphären nötig sind. Dadurch

verbilligt sich die Apparatur, weil sich die Verwendung eines besonderen Stahls erübrigt, wodurch sich wieder die Gewinnungskosten des Ammoniaks verringern. Der Wasserstoff wird aus dem Kokereigas erhalten. Das Restgas, welches bei der Verdampfung der neben dem Wasserstoff entstehenden Abscheidungen verbleibt, und in der Hauptsache aus Methan und Kohlenoxyd besteht, wird wieder als Anheizgas der Koksöfen verwendet. Diese vollständige Ausnutzung des Kokereigases wirkt natürlich auf die Verbilligung des Wasserstoffs günstig und damit auch auf die Verbilligung der Ammoniakgewinnung allgemein.

Im Anschluß hieran seien noch einige Verfahren erwähnt, die im Auslande zur synthetischen Stickstoffgewinnung erprobt sind.

Das Claude-Verfahren. Die Vereinigung von Wasserstoff, der aus Kokereigasen nach dem Luftverflüssigungsverfahren erhalten wird, mit Stickstoff erfolgt bei sehr hohem Druck (900—1000 Atmosphären) und etwas niedrigerer Temperatur.

Das Fauser-Verfahren und das Casale-Verfahren sind sich ähnlich. Bei dem ersteren Verfahren wird elektrolytischer Wasserstoff und Stickstoff aus Abgasen verwendet. Der noch vorhandene Sauerstoff wird mit Wasserstoff an einem Kontakt verbrannt. Das Stickstoff-Wasserstoffgemisch wird bei einem Druck von 300 Atmosphären und einer Temperatur von etwa 600° über einen Kontakt geleitet. Bei dem Casale-Verfahren wird der Wasserstoff elektrolytisch, der Stickstoff entweder durch Luftverflüssigung oder wie bei dem vorigen Verfahren erhalten. Die Vereinigung von Wasserstoff und Stickstoff erfolgt unter Benutzung eines besonderen Kontaktes bei einem Druck von 600—700 Atmosphären und einer Temperatur von etwa 600°.

β) Gewinnung von Stickstoffdüngern aus Steinkohlen und ähnlichen Stoffen organischen Ursprungs.

Bei der Gewinnung von Stickstoffdüngern ist man früher, abgesehen vom Chilisalpeter, in der Hauptsache von Steinkohlen ausgegangen. Torf, bituminöser Schiefer, Faulschlamm, tierische Abfälle und andere ähnliche Stoffe hatten der Steinkohle gegenüber nur geringe Bedeutung für diesen Zweck. Steinkohlen enthalten je nach Herkunft und Alter 0,2—2,5% Stickstoff; die westfälische Kohle hat 1,4—1,9%, die schlesische Kohle 1,0—1,8%, die englische Kohle 1,1—1,9% Stickstoff. Die Höhe des Stickstoffgehaltes des Rohmaterials ist aber für die Ausbeute von weit geringerer Bedeutung als die Art des Betriebes. Es handelt sich bei der Gewinnung des Stickstoffs aus den Kohlen um eine sogenannte trockene Destillation, nach Ost besser Zersetzungsdestillation genannt, bei der Gase, wässerige Destillate, Teer und Kohle als Rückstand entstehen. Diese Verarbeitung geschieht in den Gasanstalten zur Gewinnung von Leuchtgas, in den Kokereien zur Gewinnung von Koks. Ammoniak ist in beiden Fällen ein sehr wertvolles Nebenerzeugnis.

In den Gasanstalten wird das beim Reinigen des Gases zurückbleibende Gaswasser mit Kalkmilch versetzt und durch Destillation des Gemisches das Ammoniakgas ausgetrieben, welches in Schwefelsäure aufgefangen wird. Diese Art der Gewinnung von Ammonsulfat ist besonders in Kokereien durch das Verfahren von Otto ersetzt, bei welchem nach Abscheidung des Teers das Ammoniakgas von Schwefelsäure aufgenommen und die Temperatur so gehalten wird, daß sich Ammonsulfat ausscheidet. L. Mond hat festgestellt, daß die Ausbeute an Stickstoff bezw. die Gewinnung an Ammoniak aus Kohlen bei der Generatorfeuerung auf das drei- bis vierfache gesteigert werden kann, wenn ein Überschuß an Wasserdampf vorhanden ist. Das Mondsche Verfahren ist von Caro und Frank weiter ausgebaut und mit Erfolg bei der Gewinnung von Ammoniak aus Torf und Rückständen mit geringem Stickstoffgehalt verwendet worden.

Von anderen Verfahren, das Ammoniak zu binden, seien hier noch die Verwendung des Natriumbisulfates und des Burkheiserschen Gasreinigungsverfahrens sowie die Ausnutzung der Kokereiabgase erwähnt, Verfahren, die aber heute keine große Anwendung mehr finden dürften. Natriumbisulfat ist ein Abfallerzeugnis der Sprengstoffindustrie. Das damit erhaltene Natriumammoniumsulfat ist nicht mehr im Handel, nachdem das Natriumbisulfat nicht mehr in dem früheren Umfange zur Verfügung steht. Burkheisers Verfahren besteht im wesentlichen darin, daß der in den Kohlen enthaltene Schwefel bezw. die daraus entstandene schweflige Säure zur Bindung des Ammoniaks ausgenutzt wird. Das erhaltene Burkheisersche Salz besteht zu rund $^1/_3$ aus Ammonsulfit und zu $^2/_3$ aus Ammonsulfat. Die Anwendung dieses Salzes als Düngemittel hängt im wesentlichen davon ab, ob Ammonsulfit sich als solches eignet. Unsere und andere Versuche zeigen, daß erhebliche Bedenken dagegen nicht vorliegen. Bei der Ausnutzung der Kokereiabgase zur Bindung des Ammoniaks erhält man Ammoniumbikarbonat. Hierbei handelt es sich bei der Beurteilung der Brauchbarkeit als Düngemittel weniger um die Wirkung, da diese kaum bezweifelt werden wird, sondern hauptsächlich um die Haltbarkeit, welche nach unseren Versuchen da gewährleistet ist, wo eine trockene und gegen Lufteinwirkung geschützte Lagerung stattfindet; andernfalls ist mit erheblichen Stickstoffverlusten zu rechnen.

f) In der Natur vorkommende Stickstoffdünger

Wenn man von den nachher noch zu besprechenden Abfällen einiger Industrien, welche als Düngemittel verwendet werden, absieht, haben wir als in der Natur fertiggebildeten Stickstoffdünger, der als Dünger Bedeutung gewonnen hat, nur den Chilisalpeter. Er hat seine Benennung nach seinem hauptsächlichsten Vorkommen in Nordchile er-

halten und ist in diesen regenarmen Gegenden durch Verwesung dort abgelagerter Pflanzen und tierischer Abfälle, die zum Teil aus dem Meere angeschwemmt waren, entstanden. Der Rohsalpeter, Caliche genannt, enthält 15—70% Natriumnitrat, ferner Sulfate, Chlornatrium in erheblicher Menge, etwas Chlorkalium, Kaliumnitrat, Perchlorat, sehr wenig Natriumjodat. Durch Lösen des Rohsalpeters und Wiederauskristallisieren des Natriumnitrates werden diese Beimengungen von Chloriden, Sulfaten, Jodaten usw. größtenteils entfernt. Der gereinigte Handelssalpeter enthält nur noch 5% Verunreinigungen, die nach Weitz aus 2,5% Kochsalz, 0,5% Natriumsulfat und 2,0% sonstigen Verunreinigungen und Wasser bestehen. R. Wagner gibt für die Zusammensetzung des Chilesalpeters folgende eingehendere Zusammensetzung an: 94,03% Natriumnitrat, 0,31% Natriumnitrit, 1,52% Natriumchlorid, 0,92% Natriumsulfat, 0,29% Natriumjodat, Spur Natriumchlorat, 0,64% Kaliumchlorid, 0,93% Magnesiumchlorid, Spur Borsäure, 1,36% Wasser. Je nach dem Grad der Reinigung wird diese Zusammensetzung schwanken, insbesondere auch der Gehalt an pflanzenschädlichen Bestandteilen verschieden sein, worauf später noch einzugehen ist. In dieser Hinsicht verdient der künstlich hergestellte Natronsalpeter, der frei von schädlichen Stoffen ist, immer den Vorzug.

In ähnlicher Weise wie der Chilesalpeter, wird auch der Kalisalpeter in Ostindien noch heute aus kalisalpeterhaltiger Erde gewonnen; doch ist seine Menge gegenüber dem Chilesalpeter so gering gewesen, daß er für die Düngung keine Bedeutung erlangt hat. Holzasche ist meistens reich an Kalisalpeter. Auch das auf den Mauern in Stallungen und Aborten auswitternde Salz ist oft Kalisalpeter; er entsteht nach den Angaben von Ost überall im Boden bei der Zersetzung tierischer und pflanzlicher Stoffe, wenn kalihaltige Stoffe vorhanden sind. Abgesehen von der bereits erwähnten Herstellung durch Absättigen der Salpetersäure mit Kaliumkarbonat kann Kalisalpeter auch durch Umsetzung des Natronsalpeters mit Kalisalzen hergestellt werden; diese Umsetzung ist wegen der verschiedenen Löslichkeit des Natron- und Kalisalpeters möglich, indem Kalisalpeter in heißem Wasser leichter und in kaltem Wasser schwerer löslich ist als Natronsalpeter. Nach dieser Herstellungsart heißt der Kalisalpeter auch Konversionssalpeter.

g) Stickstoffhaltige Abfälle

Diese Abfälle gewisser Industrien sollen hier nur soweit angeführt werden, als sie hauptsächlich ihres Stickstoffes wegen Verwendung finden; falls auch ihr Phosphorsäuregehalt bei der Bewertung als Düngemittel eine größere Bedeutung (z. B. bei Knochenmehl) hat, soll die Besprechung mit derjenigen anderer Düngemittel, die mehrere Nährstoffe enthalten, verbunden werden.

Die Düngemittel, welche hierher gehören, sind durchweg organischer Art. Blutmehl wird erhalten, wenn Blut durch Erwärmen zum Gerinnen gebracht und der Rückstand nach dem Trocknen gemahlen wird. Es enthält 9—12% Stickstoff und bis 1% Phosphorsäure. Hornmehl gewinnt man aus Hornabfällen jeder Art, Klauen und ähnlichen Abfällen; diese werden gedämpft oder gedarrt und gemahlen. Das Hornmehl enthält 10—14% Stickstoff, 5% Phosphorsäure und 6% Kalk. Ledermehl besteht aus Lederabfällen, welche gedämpft oder geröstet und danach gemahlen werden; es enthält 6—10% Stickstoff. Wollabfälle verschiedenster Art werden am besten durch Kompostierung für Düngezwecke vorbereitet. Rehmsdorfer organischer Stickstoffdünger wird aus tierischen Abfällen wie Haut, Haaren, Knochen, Blut, Wolle, Federn, Leder usw. durch Dämpfen und Behandeln mit Säuren gewonnen. Galalith wird aus dem Kasein der Milch durch Pressen und Behandeln mit Formaldehyd hergestellt. Der Stickstoffgehalt ist 11—12%.

h) Zusammensetzung und Anwendung der Stickstoffdünger

Natronsalpeter (Chilesalpeter). Der aus dem Luftstickstoff hergestellte Natronsalpeter enthält im Durchschnitt 16% Stickstoff in salpetersaurem Natron; er ist frei von pflanzenschädlichen Stoffen. Chilesalpeter hat rund 15,5% Stickstoff in gleicher Bindungsform. An Verfälschungen ist der Zusatz von Kalirohsalzen und Kochsalz beobachtet worden. Er enthält bisweilen, wenn die Lauge ohne sorgfältige Abscheidung des Perchlorates zum Auskristallisieren gebracht wurde, Perchlorate, welche für die Pflanzen schädlich wirken können. Auf diese Schädlichkeit des Perchlorates hat Sjollema zuerst aufmerksam gemacht. Besonders empfindlich gegen Perchlorat ist Roggen, aber auch Weizen, Gerste und Hafer, weniger Hackfrüchte, wenn der Salpeter in mehreren und kleineren Gaben gegeben wird, was in der Regel der Fall ist. Neuerdings wird vielfach auf die günstige Wirkung des im Chilesalpeter enthaltenen Jods hingewiesen, indem man annimmt, daß das Jod von den Pflanzen aufgenommen wird und die aus diesen Pflanzen bezw. pflanzlichen Erzeugnissen hergestellten Nahrungsmittel günstig auf die Kropfbildung bei Menschen wirken. Der Jodgehalt des Chilesalpeters ist nach den früheren Angaben sehr gering und macht bei den Mengen Chilesalpeter, welche in der Regel angewendet werden, nur einen kleinen Bruchteil aus. Stoklasa folgert aus seinen Versuchen, „daß dem Jod beim Lebensprozeß der Halophyten eine wichtige physiologische Funktion zugewiesen ist“ und „an allen Aufbau- und Abbauprozessen in der lebenden Zelle lebhaft beteiligt ist“. Er hat bei seinen Versuchen mit verschiedenen Pflanzen Ertragssteigerungen von 45—96% beobachtet. Auch W. Scharrer und A. Strobel haben durch ihre Versuche günstige

Erfolge der Jodwirkung nachgewiesen. Diese günstigen Ergebnisse haben durch andere Versuche keine Bestätigung gefunden; so folgert M. v. Wrangell aus ihren Versuchen, „daß durch Joddüngung auch in Gaben, die den natürlichen Jodgehalt des Chilesalpeters weit übersteigen, keine Ertragssteigerungen hervorzurufen sind, daß eine Erhöhung des Jodgehaltes der Pflanzen durch Joddüngung auf einem Boden, wo der Kropf endemisch auftritt, in nennenswerter Menge nicht zu erzielen ist". Haselhoff hat bei Freiland- und Gefäßversuchen, bei denen Jod in Form von Jodiden und Jodaten in Mengen angewendet wurde, welche bei Chilesalpeterdüngung nicht erreicht werden, keine Einwirkung des Jods auf das Pflanzenwachstum, weder im günstigen noch ungünstigen Sinne feststellen können. Auch konnte in den geernteten Pflanzen Jod nicht festgestellt werden. Andere Versuchsergebnisse liegen in gleicher Richtung. Wir haben keine Veranlassung, dem Chilesalpeter wegen seines Jodgehaltes einen höheren Wert als dem deutschen Natronsalpeter beizulegen.

In der Wirkung sind beide Salpeterarten gleich zu bewerten. Für die Anwendung des Salpeters ist von Bedeutung und daher zu beachten, daß die Salpetersäure vom Boden nicht absorbiert wird. Es liegt daher die Gefahr vor, daß da, wo bei der Düngung mit Salpeter Pflanzen zur Aufnahme des Stickstoffs fehlen, der Salpeterstickstoff mit der Bodenflüssigkeit in den Untergrund versickert und damit für die Pflanzenernährung verloren geht. Diese Gefahr soll zwar nach neueren Angaben ausländischer Forscher nicht so groß sein, wie man bisher allgemein angenommen hat, aber man muß doch immer und besonders auf den leichteren sandigen Böden, in denen das Wasser schnell versickert, damit rechnen. Jedenfalls ist nur da die Wirkung der Düngung mit Salpeterstickstoff sicher, wo dieser von den Pflanzen bald aufgenommen werden kann; dabei muß jedes Übermaß vermieden und die Menge des Salpeters dem Boden und den Pflanzen angepaßt werden. Der Salpeterstickstoff ist am wirksamsten als Kopfdünger, weil hier Pflanzen zur sofortiger Aufnahme des Stickstoffs vorhanden sind und deshalb keine oder im ungünstigsten Falle doch nur sehr geringe Verluste eintreten können. Er kommt auch zur guten Wirkung, wenn er in geringer Menge mit der Aussaat gegeben wird; wird er längere Zeit vor der Aussaat ausgestreut, so ist mit größeren Stickstoffverlusten zu rechnen. Gleiches gilt für die Anwendung des Salpeters im Herbst zu Winterfrüchten. Eine solche Anwendung sollte niemals erfolgen, es sei denn, daß aus irgendeinem Grunde (bei durch Witterung, Krankheit usw. zurückgebliebenen Pflanzen) eine kräftigere Förderung des Wachstums der Pflanzen notwendig ist; hierfür kann Salpeter dienen, aber auch hier sollte die Menge des angewandten Salpeters möglichst eingeschränkt werden. Anders ist es, wenn im Frühjahr beim Erwachen der Vegetation Stick-

stoff angewendet werden soll; hier ist der Salpeter der für die Kopfdüngung des Wintergetreides gegebene Dünger. Auch bei Sommerfrüchten kommt Salpeter in erster Linie als Kopfdünger in Frage. Soll er bei der Aussaat gegeben werden, so muß die Menge beschränkt sein; die Hauptstickstoffdüngung muß dann durch Kopfdüngung erfolgen. In allen Fällen muß die Kopfdüngung bei trockenem Wetter und auf nicht benetzte Pflanzen erfolgen, da sonst eine Beschädigung der Pflanzen durch Ätzung der Blätter eintreten kann.

Das schnellere Wachstum der mit Salpeterstickstoff gedüngten Pflanzen kann dahin führen, daß die Pflanzenhalme schwächer ausgebildet und weniger widerstandsfähig sind; es ist bekannt, daß dichter Stand der Pflanzen in gleicher Richtung wirkt. Daraus erklärt sich die Beobachtung, daß stark mit Salpeter gedüngtes Getreide leichter lagert; es ist zu erwarten, daß dieser Nachteil der Salpeterdüngung bei Getreide, welches weiter gedrillt ist, zurücktreten wird.

Ob es richtig ist, daß die mit Nitratstickstoff gedüngten Pflanzen dem Rostbefall leichter und stärker ausgesetzt sind, muß dahingestellt bleiben. Manche Beobachtungen sprechen dafür, andere dagegen. Wahrscheinlich ist die Salpeterdüngung einer der Faktoren, die die Anfälligkeit der Pflanzen gegen Rost begünstigen. Es fehlt aber der sichere Beweis für diese Ansicht.

Von besonderer Bedeutung ist der Einfluß des Natrons im Salpeter auf die Bodenbeschaffenheit; es unterliegt keinem Zweifel, daß durch eine stärkere und öfters wiederkehrende Salpeterdüngung die Bodenbeschaffenheit leidet, indem dadurch eine Verkrustung der oberen Bodenschicht herbeigeführt wird, welche die Einwirkung von Luft, Feuchtigkeit und Wärme hindert und damit das Leben im Boden stört. Besonders die schwereren Böden können in dieser Weise durch verstärkte Salpeterdüngungen geschädigt werden. Die Beobachtungen von W. Krüger, A. Mausberg, E. Wollny, E. Blanck u. a. m. lassen darüber keinen Zweifel, daß der Boden durch Natronsalpeter in seinen physikalischen Eigenschaften verschlechtert wird, indem das aus dem Salpeter im Boden zurückbleibende Natron und die daraus im Boden gebildete Soda auf die Bodenkolloide eine nachteilige Wirkung ausüben wird. W. Krüger sagt darüber treffend: „Auch eine Förderung der Krusten- und Kloßbildung scheint mit der Gegenwart von kohlensaurem Natrium im Boden im engsten Zusammenhang zu stehen, denn durch dieses Salz werden die feinsten Bodenteilchen in der Schwebe erhalten und bilden bei der verminderten Durchlässigkeit des Bodens, wenn das oberflächliche Wasser einzieht oder verdunstet, eine dichte Schicht an der Bodenoberfläche.“ Ehrenberg faßt die Wirkung des Natronsalpeters auf den Boden dahin zusammen, daß die Krümelstruktur des Bodens beeinträchtigt oder gar vernichtet wird und dabei Krustenbildung ein-

tritt, ferner, daß die Bodenkolloide ausgewaschen werden. Daß diese nachteiligen Wirkungen wiederholter starker Natronsalpeter-Düngungen je nach der Bodenbeschaffenheit stärker oder schwächer auftreten können, ist eine so allgemeine Feststellung, daß sich darüber weitere Ausführungen erübrigen. Diese Schädigungen werden vor allem da zu fürchten sein, wo die physikalische Beschaffenheit des Bodens an sich oder durch mangelhafte Bearbeitung, Fehlen von organischem Dünger und Kalk und infolgedessen wegen mangelnder Gare ungünstig ist. Wo der Kulturzustand des Bodens gut ist, treten die Gefahren dieser nachteiligen Wirkung auf den Boden zurück.

Kalisalpeter. Dieser Dünger enthält 13,8% Stickstoff und 46% Kali. Die Wirkung des Stickstoffs ist nach den Freiland- und Gefäßversuchen von E. Haselhoff derjenigen des Stickstoffs im Natronsalpeter gleich zu setzen. Auch bei Futterrüben zeigt sich kein Unterschied, was darauf schließen läßt, daß die besondere günstige Wirkung des Natrons bei Futterrüben ausbleibt, wenn genügende Mengen Kali den Pflanzen zur Verfügung stehen. Ob der Kalisalpeter als Düngemittel weitere Verbreitung findet, erscheint fraglich, weil der Fall nicht oft vorliegen wird, daß Stickstoff und Kali zugleich in dem in diesem Dünger vorhandenen Verhältnis für die Ernährung der Pflanzen nötig sein werden und dann — da anzunehmen ist, daß man bei der Bemessung der Düngermenge von dem Stickstoff des Düngers ausgehen und damit stets eine große Menge Kali geben wird — der Überschuß an Kali von den Pflanzen nicht durch Mehrertrag gelohnt wird, aber doch bezahlt werden muß. Gleiches kann natürlich auch beim Stickstoff eintreten, wenn die Düngermenge durch das Kalibedürfnis des Bodens bestimmt wird. In dieser Hinsicht besteht für den Kalisalpeter derselbe Mißstand wie bei allen Düngemitteln mit mehreren Nährstoffen. Die Nährwirkung des Kalis im Kalisalpeter ist gut und einwandfrei. Schädigungen der Pflanzen, welche man mit chloridhaltigen Kalisalzen erhalten hat, über die später noch zu berichten ist, sind nicht zu befürchten. Gegenüber dem Natronsalpeter hat der Kalisalpeter den großen Vorzug, daß er auf den Boden nicht die beim Natronsalpeter angegebene ungünstige Wirkung ausübt.

Kalksalpeter (Kalziumnitrat). In der Zusammensetzung und Beschaffenheit, in der dieser Dünger heute in Deutschland gewonnen wird, enthält er 15,5% Stickstoff und 28% Kalk; letzterer bleibt bei der Preisbewertung außer acht, ist aber natürlich bei der Beurteilung der Düngewirkung des Kalksalpeters zu berücksichtigen. Der aus Norwegen stammende sogen. Norgesalpeter und der Schlösingsalpeter sind Kalksalpeter mit niedrigerem Kalkgehalt (10 und 13%).

Der Kalksalpeter ist sehr hygroskopisch, zieht also leicht Wasser an, wodurch das Ausstreuen und damit die gleichmäßige Verteilung des Düngers außerordentlich erschwert wird. Durch die Herstellung in

körniger Form und durch besondere Verpackung ist es den Badischen Anilin- und Sodafabriken gelungen, diesem Übelstande zu begegnen; allerdings zeigt er sich auch hierbei, sobald der Kalksalpeter einige Zeit der Luft ausgesetzt ist.

Die Anwendung und Wirkung des Stickstoffs im Kalksalpeter steht derjenigen des Stickstoffs im Natronsalpeter nahe. Bei unseren Versuchen hat Kalksalpeter auf Sandboden besser gewirkt als auf Lehmboden. Bei Möhren hat die Beigabe von Kochsalz die Wirkung des Kalksalpeterstickstoffs etwas gesteigert; in der Ausnutzung des Stickstoffs steht der Stickstoff im Kalksalpeter dem Stickstoff im Natronsalpeter etwas nach. Im übrigen konnte bei Rüben diese günstige Beeinflussung des Wachstums der Pflanzen durch die Beigabe von Kochsalz zu Kalksalpeter nicht festgestellt werden; auch Schneidewind kommt zu diesem Ergebnis.

Kalksalpeter darf nicht auf nasse Pflanzen gestreut werden, da er infolge des Gehaltes an freiem Kalk sonst auf die Pflanzen ätzend und damit schädlich wirkt. In diesem Kalkgehalt liegt ein großer Vorzug des Kalksalpeters vor Natronsalpeter, weil dadurch die nachteilige Wirkung auf die physikalische Beschaffenheit des Bodens, welche eine unangenehme Folge der Anwendung des Natronsalpeter sein kann, verhindert wird.

In dem Kalksalpeter ist ein geringer Teil des Stickstoffs in Nitritform vorhanden. Bei den Versuchen mit Natriumnitrit fand E. Haselhoff keine Benachteiligung der Keimung der Samen, eine Feststellung, welche sich mit Beobachtungen Kellners deckt; die spätere Entwicklung der Pflanzen ist zwar normal und gesund, doch bleibt der Ertrag schließlich hinter demjenigen nach Nitratstickstoff zurück. Auch in der Ausnutzung des Stickstoffs erreicht das Nitrit die Wirkung des Nitratstickstoffs nicht. Letzteres findet auch Schneidewind. M. Gerlach hat keine schädliche Wirkung des Kalknitrits beobachtet, stellt aber fest, daß die damit erzielten Erträge denjenigen nach Chilesalpeter nicht gleichkommen. Es kann kein Zweifel darüber sein, daß der Nitritstickstoff nicht die Wirkung des Nitratstickstoffs auf den Ertrag ausübt, jedoch sind die Mengen des Kalziumnitrits im Kalksalpeter so gering, daß dieses Kalziumnitrit bei der Anwendung von Kalksalpeter auf die Entwicklung und den Ertrag der Pflanzen nicht nachteilig wirken wird.

Schwefelsaures Ammoniak (Ammonsulfat). Der Stickstoffgehalt des Ammoniaksalzes, wie dieser Dünger auch genannt wird, beträgt im Durchschnitt 20,5%, im gedarrten Salz 20,8%. An Verfälschungen sind Zusätze von Kochsalz und Kalirohsalz beobachtet worden. In dem aus Gasanstalten stammenden Ammonsulfat wurde früher öfters als heute Rhodanammonium gefunden, welches als starkes Pflanzengift erkannt worden ist, sodaß ein Ammoniaksalz, in dem dieses Rhodansalz nach-

gewiesen wird, von der Düngung ausgeschlossen werden muß. Keimprüfungen, die Haselhoff und Gössel ausführten, ergeben bereits bei 0,0025% Rhodanammonium eine erhebliche Keimverzögerung; bei 0,1% war die Keimung nahezu Null. Ein bei der Reinigung des Leuchtgases mit Superphosphat erhaltenes Gasphosphat kann durch Waschen des Gasphosphates mit einer konzentrierten Lösung von Ammonsulfat bis auf 0,9% Rhodanammonium von diesem Salz befreit werden. Versuche, die wir mit diesem Gasphosphat ausführten, ergaben selbst bei einer Menge von nur 0,1 g Rhodanammonium in diesem Gasphosphat auf 8,5 kg Boden eine äußerst schädliche Wirkung des Rhodanammoniums selbst noch auf die Nachfrucht.

Die Wirkung des Stickstoffs im schwefelsauren Ammoniak wird durch die für die meisten Pflanzen notwendige Umwandlung des Ammoniakstickstoffs in Salpeterstickstoff beeinflußt. Es ist bereits früher (S. 118) auf das Wirkungsverhältnis dieser beiden Stickstofformen hingewiesen und hervorgehoben worden, daß der Verlauf der Nitrifikation und damit die Wirkung des Ammoniakstickstoffs durch bestimmte Faktoren im Boden beeinflußt wird. Deshalb kann es auch nicht überraschen, daß Beobachtungen bekannt gegeben worden sind, die nicht nur das angegebene Wirkungsverhältnis von 100 : 95 bestätigen, sondern zum Teil für den Ammoniakstickstoff noch ungünstiger sind, zum Teil aber auch eine bessere Wirkung desselben als diejenige des Nitratstickstoffs zeigen. Wenn man dieses beachtet, wird man das angegebene Wirkungsverhältnis der beiden Stickstofformen nicht verallgemeinern und falsch deuten. Diese Umwandlung des Ammoniakstickstoffs in Salpeterstickstoff erfordert Zeit und ist damit gegeben, daß der Ammoniakstickstoff immer nur in dem Maße wirkt, wie er in Salpetersäurestickstoff umgesetzt wird, mit anderen Worten: der Ammoniakstickstoff wirkt allmählich und anhaltender; darin kann gegenüber der schnellen und kräftigen Wirkung des Salpeterstickstoffs ein Vorzug liegen, wenn für das Wachstum der Pflanzen eine ständig fließende Stickstoffquelle vorteilhafter ist. Dafür ist von besonderer Bedeutung, daß, während der Nitratstickstoff vom Boden nicht festgehalten werden kann, der Ammoniakstickstoff vom Boden infolge der Umsetzungen des Ammoniaks mit den zeolithartigen Verbindungen des Bodens absorbiert wird. Dadurch ist die Gefahr des Auswaschens dieses Stickstoffs aufgehoben, zum mindesten auf den Teil, der im Laufe der Zeit nitrifiziert ist und nicht sogleich von Pflanzen aufgenommen wird, beschränkt, also erheblich vermindert.

Verluste an Stickstoff können auf kalkreichem Boden durch Verdunstung von Ammoniak entstehen. Diese Verluste sollen nach P. Wagner um so größer sein, je mehr Kalk im Boden ist, indem sich nach der Formel: $(NH_4)_2SO_4 + CaCO_3 = CaSO_4 + (NH_4)_2CO_3$ das nicht flüchtige Ammonsulfat in flüchtiges kohlensaures Ammoniak umsetzt.

Diesem Verlust sollen ein höherer Gehalt an Wasser im Boden, welches das Ammoniak absorbiert, die Festlegung des Ammoniaks durch Bakterien und die Absorption des Ammoniaks durch Bodenbestandteile entgegenwirken. Ich glaube, daß diese Verluste an Stickstoff durch Ammoniakverdunstung sehr überschätzt werden; sie gehen jedenfalls sehr zurück, wenn das Ammoniaksalz bald in den Boden gebracht wird, und sind nur da besonders zu befürchten, wo dieses Salz längere Zeit auf dem Boden liegen bleibt. Damit ist nicht ausgeschlossen, daß im Boden selbst Ammoniak frei werden kann; wenn die Bedingungen hierfür in dem Vorhandensein von kohlensaurem Kalk gegeben sind und sich kohlensaures Ammoniak bilden kann, wird es wesentlich auf die Bodenbeschaffenheit ankommen, ob dieses entweicht oder nicht, worauf schon hingewiesen wurde. Man kann Th. Pfeiffer zustimmen, welcher nur in sandigen, an kohlensaurem Kalk reichen, aber an zeolithartigen Verbindungen und an Humus armen Böden Stickstoffverluste dieser Art für möglich hält. Lemmermann ist der Ansicht, daß die Böden sich in der Absorption von Ammoniak individuell verschieden verhalten, daß je nach dem Charakter des Bodens die Ammoniakverdunstung durch kohlensauren Kalk günstig, ungünstig oder gar nicht beeinflußt wird. Wenn letzteres eintritt, so kann der Grund dafür darin gesucht werden, daß „das Kalzium verhältnismäßig am schwächsten absorbiert wird und in den Silikaten leicht durch andere Basen ersetzt werden kann, besonders auch durch Ammoniak, das stark absorbiert wird. Wenn also infolge einer Kalkdüngung kalkhaltige Zeolithe im Boden entstanden sind, so kann das für eine Ammoniakbindung günstig sein.“ Weiter weist Lemmermann auf die Umsetzungen des Ammoniaks mit humussaurem Kalk hin, wodurch Ammoniak festgehalten wird. Ungünstig wirken auf die Ammoniakabsorption des Bodens die Kalisalze.

In der Regel wirkt der Ammoniakstickstoff erst nach der Nitrifikation. Diese wird durch Bodenbakterien herbeigeführt, deren Tätigkeit durch Kalk gefördert wird. Daraus folgt, daß die Nitrifikation des Ammoniaks sich am besten dann vollzieht, wenn der Dünger mit dem Boden gut vermischt ist, sodaß die einzelnen Faktoren bei dieser Umsetzung zur Wirkung kommen können. Es ist deshalb zu erwarten, daß der ammoniakhaltige Dünger dann am besten zur Ausnutzung kommt, wenn er in den Boden gebracht wird, nicht aber bei der Anwendung als Kopfdünger; diese letztere ist immer nur ein Behelf in Ausnahmefällen, in denen von der Anwendung des Salpeterstickstoffs abgesehen werden muß. Weiter ist auch bei der Kopfdüngung mit ammoniakhaltigen Düngern die Gefahr, daß Ammoniakverluste durch Verdunstung entstehen, größer. Im allgemeinen wird man die ammoniakhaltigen Düuger vor der Aussaat in den Boden bringen. Hierdurch ist die Wirkung dieser Dünger am besten gesichert und kann mit einer

guten Ausnutzung durch die Pflanzen gerechnet werden, weil die Stickstoffnahrung ihnen je nach dem Verlauf der Nitrifikation allmählich zufließt.

Mit Rücksicht darauf, daß Stickstoff in Form von Ammoniak im allgemeinen erst nach der Nitrifikation zur Wirkung kommt, daß diese Nitrifikation auch durch die Temperatur insofern beeinflußt wird, als die Nitrifikationsbakterien bei niedrigerer Temperatur nicht gedeihen, sodaß also in den Wintermonaten nur geringe Mengen an Nitratstickstoff entstehen können, ferner, daß das Ammoniak vom Boden absorbiert wird, können Ammoniaksalze auch bei der Herbstdüngung der Wintersaaten in Frage kommen. Aber auch hierbei soll man die Düngermenge nicht zu groß wählen, sondern nur den notwendigsten Bedarf decken, weil sonst die Möglichkeit vorliegt, daß die Pflanzen die gebildete Salpetersäure nicht aufnehmen können und diese durch Versickern verloren geht. Vor allem ist dieses bei der Düngung mit Ammoniaksalzen auf den leichteren Böden zu beachten, welche nur eine geringe Absorptionskraft für Ammoniak haben.

Von besonderer Bedeutung ist die Wirkung des schwefelsauren Ammoniaks, wie allgemein der Ammoniaksalze auf die Reaktion des Bodens. Es ist dieses schon früher (S. 112) dargelegt und gesagt worden, daß bei Ammonsulfat die versauernde Wirkung auf den Boden am größten sein kann. In der wiederholten, starken und einseitigen Anwendung des Ammonsulfates kann auf allen Böden besonders dann, wenn Kalk nur in geringer Menge im Boden vorhanden ist, eine Gefahr der Versauerung bestehen; vor allem gilt dieses für diejenigen Böden, welche in ihrem Kulturzustande vernachlässigt sind. Man wird auch auf sauren Böden die Anwendung von schwefelsaurem Ammoniak vermeiden, weil durch diese Düngung die saure Beschaffenheit des Bodens noch verstärkt werden würde.

Nur einzelne Pflanzen können den Stickstoff in Form von Ammoniak unmittelbar aufnehmen; es ist darüber schon eingehender berichtet (S. 117). Die Annahme, daß bei der Wirkung des Natronsalpeters der Natrongehalt eine Rolle spielt, scheint in dieser Allgemeinheit nicht richtig zu sein, denn die Beigabe von Chlornatrium zu schwefelsaurem Ammoniak hat bei Versuchen, welche hier und anderwärts in dieser Richtung ausgeführt worden sind, nicht immer Ertragssteigerungen gebracht, die mit Natronsalpeter erreicht wurden. Wenn aber hierin wirklich die Ursache einer geringeren Wirkung des Ammoniaks zu suchen sein sollte, würde man diesem Mangel durch die Beigabe von natronhaltigen Kalirohsalzen abhelfen können.

In der Anwendung steht das salzsaure Ammoniak (Chlorammonium) dem schwefelsauren Ammoniak nahe. Es enthält etwa 25% Stickstoff. In der Wirkung des Stickstoffs bleibt das salzsaure

Ammoniak etwas hinter derjenigen des Ammonsulfates zurück. Dabei ist besonders zu beachten, daß das salzsaure Ammoniak nicht zur Düngung von chlorempfindlichen Pflanzen wie Kartoffeln und Tabak zu empfehlen ist.

Kalkstickstoff (Kalziumzyanamid). Der heute im Handel als Düngemittel vorkommende Kalkstickstoff enthält durchschnittlich 19 bis 21% Stickstoff und 45—50% Kalk; der Stickstoffgehalt geht aber auf 15% und weniger herunter, wenn der Dünger ungünstig, d. h. der Luft und Feuchtigkeit ausgesetzt gelagert wird. Kalkstickstoff soll möglichst frei von Kalziumkarbid sein; Maly fand, daß der Gehalt daran in der Handelsware meistens nicht höher als 0,25% ist; durch die Einwirkung von Wasser kann die Zersetzung des Kalziumkarbids erreicht werden. Ein besonderer Übelstand bei der Anwendung des Kalkstickstoffs ist das Stauben dieses Düngers. Von den zur Beseitigung dieses Staubens empfohlenen Mitteln dürfte das Ölen das wirksamste sein. Es ist auch versucht worden, gekörnten Kalkstickstoff herzustellen und zwar durch Zusatz von Wasser entsprechend dem Gehalt an freiem Kalk. Dieser gekörnte Kalkstickstoff enthielt nur 16% Stickstoff.

Wenn man Kalkstickstoff mit dem drei- bis vierfachen Überschuß an Wasser auf 80—90° erhitzt, so entsteht Dicyandiamid, welches für Pflanzen giftig ist. Dasselbe bildet sich auch in feuchtgelagertem Kalkstickstoff; zugleich entstehen Stickstoffverluste. Bei der Einwirkung von Wasser auf Kalkstickstoff ist also immer Vorsicht am Platze. Bei sachgemäßer, d. h. bei trockener, vor Einwirkung von Feuchtigkeit geschützter Lagerung des Kalkstickstoffs ist die Bildung pflanzenschädlicher Stoffe nicht zu befürchten.

Kalkstickstoff kann als Ausgangsprodukt für die Gewinnung von Harnstoff dienen. Diese Umbildung erfolgt bei der Einwirkung von Kohlensäure und Wasser auf Kalkstickstoff in folgender Weise:

$$CaCN_2 + H_2O + CO_2 = CaCO_3 + CNNH_2$$
$$CNNH_2 + H_2O = NH_2 \cdot CO \cdot NH_2.$$

Diese Reaktion wird durch mineralische Stoffe, besonders durch Manganverbindungen, welche als Katalysatoren wirken, beschleunigt. Der verbleibende Kalkrückstand enthält im frischen Zustande Spuren von Rhodan, welche sich nach dem Lagern des Schlammes verloren haben. Wenn dieser Schlamm frei von pflanzenschädlichen Verbindungen ist, kann er als Kalkdünger Verwendung finden; er enthält nach den Untersuchungen der agrikulturchemischen Kontrollstation in Halle 35 bis 40% kohlensauren Kalk, 15—20% Kalziumhydroxyd, 1% Eisenoxyd, 0,25% Stickstoff und 6% Kohlenstoff in graphitischer Form.

Nitrazol ist eine von Torf aufgesaugte Cyanamidlösung; sie wird in der Schweiz und Frankreich hergestellt.

Kalkstickstoff muß, bevor sein Stickstoff von den Pflanzen verwertet werden kann, zersetzt und der Stickstoff in die Ammoniak- bezw. die Nitratform übergeführt werden. Je schneller diese Umsetzung des Stickstoffs erfolgt, desto besser ist die Wirkung und desto mehr unterbleiben die nachteiligen Wirkungen, welche bei der Anwendung von Kalkstickstoff beobachtet worden sind. E. Haselhoff konnte bei der Zersetzung des Kalkstickstoffs neben Ammoniak, noch Azetylen, Phosphorwasserstoff und Schwefelwasserstoff feststellen, Verbindungen, die mit Ausnahme von Azetylen bei den Versuchen als schädlich für die Keimung der Samen und das Wachstum der Pflanzen erkannt wurden. Man glaubt, daß die schädliche Wirkung bei frühzeitiger Anwendung des Düngers vermieden wird und rechnet dabei mit einem Zeitraum von 2—3 Wochen. Aber nicht immer unterbleibt bei dieser Anwendung des Kalkstickstoffs die giftige Wirkung; andererseits ist aber auch eine schädliche Wirkung des Kalkstickstoffs nicht beobachtet worden, wenn der Kalkstickstoff unmittelbar vor der Aussaat angewendet wurde. Es müssen daher noch andere Faktoren als die Zeit bei der Bildung pflanzenschädlicher Umsetzungsstoffe mitwirken, welche im Boden selbst liegen. Daran kann nach den vorliegenden Versuchen von Ulpiani, Stutzer, Kappen u. a. m. kein Zweifel sein. Besonders Kappen hat durch seine Versuche hierüber Klarheit geschaffen. Danach wird die Zersetzung des Kalkstickstoffs durch die Absorptionskraft des Bodens gefördert, indem Kalk absorbiert und das freie Cyanamid leichter zersetzt wird. In absorptionsschwachen Böden verläuft die Zersetzung langsamer. Damit stimmen die Erfahrungen überein, welche bei der Anwendung des Kalkstickstoffs im praktischen Betriebe gemacht worden sind. Auf stark lehmhaltigen oder tonigen Böden mit gutem Humusgehalt, also auf absorptionsfähigen Böden, vollzieht sich die Umsetzung des Kalkstickstoffs bald und so schnell, daß eine Gefahr für das Pflanzenwachstum nicht vorliegt. Anders ist es auf humusarmem leichtem Sandboden; hier genügt auch oft ein Unterbringen des Kalkstickstoffs drei Wochen vor der Aussaat nicht, um die Pflanzen vor Schädigungen durch das giftige Cyanamid zu schützen. Blanck und Giesecke finden, daß durch das Mischen von Kalkstickstoff mit Erde und Lagern des Gemisches vor dem Ausstreuen die Wirkung des Kalkstickstoffs auf den Ertrag und die Ausnutzung des Stickstoffs gesteigert werden kann. Je länger die Zeit zwischen Mischen und Unterbringen ist, desto geringer ist die Wirkung. Wahrscheinlich ist dieses auf Stickstoffverluste zurückzuführen, die sich aus der Umwandlung des Kalkstickstoffs in Harnstoff bezw. Ammoniak erklären. Dadurch verliert das Verfahren an Bedeutung für den praktischen Betrieb, während es sonst die Anwendung

des Kalkstickstoffs erleichtert hätte, welche durch die ätzende Wirkung des im Kalkstickstoff vorhandenen freien Kalkes und durch das Stauben des Düngers erschwert wird.

Auch die schon erwähnte Körnung des Kalkstickstoffs ist für die Wirkung nicht immer günstig, da die Umsetzung des Stickstoffs dadurch verlangsamt wird. Dadurch erklärt sich die verschiedentlich beobachtete geringere, ja sogar schädliche Wirkung des gekörnten Kalkstickstoffs.

Die Verwendungsmöglichkeit des Kalkstickstoffs zur Düngung ist beschränkter als diejenige von Salpeter und Ammonsulfat; das ergibt sich aus dem Einfluß von Boden und anderen bereits genannten Faktoren auf die Umsetzung der Stickstoffverbindungen. Aus der Tatsache, daß der Stickstoff im Kalkstickstoff erst nach der Zersetzung und Umbildung des Cyanamidstickstoffs in Ammoniak- und Nitratstickstoff als Pflanzennahrung dienen kann, folgt ohne weiteres, daß die Wirkung des Stickstoffs im Kalkstickstoff derjenigen des Ammoniak- oder Salpeterstickstoffs nachstehen muß; man kann als Anhalt dafür annehmen, daß sie durchschnittlich höchstens 80 % der Wirkung des Salpeterstickstoffs ausmacht. Diese Durchschnittswirkung wird je nach der Schnelligkeit der Umsetzung des Stickstoffs im Kalkstickstoff eine höhere oder geringere sein; hierbei übt nach den früheren Ausführungen die Bodenbeschaffenheit einen großen Einfluß aus. Kalkstickstoff wirkt am besten auf kalkhaltigem Lehm- und Tonboden; er ist für kalkarmen Sandboden weniger geeignet und auf saurem Moorboden sehr unsicher. Die Annahme, daß auch die Tiefe des Unterbringens des Kalkstickstoffs für die Wirkung Bedeutung habe, haben wir durch unsere Versuche nicht allgemein bestätigen können; das tiefe Unterbringen hat durchweg günstiger gewirkt, als das flachere Einbringen des Düngers in den Boden. Kalkstickstoff kann im Herbst als Stickstoffdünger für Wintergetreide verwendet werden; auch für die Düngung von Sommergetreide ist der Dünger brauchbar, wenn er zeitig vor der Aussaat in den Boden gebracht werden kann. Als Kopfdünger ist der Kalkstickstoff im allgemeinen nicht zu empfehlen; wird er als solcher verwendet, so darf er nur auf trockene Pflanzen gestreut werden, weil sonst die Pflanzen durch Ätzen geschädigt werden. Dieses ist auch bei der Düngung von Wiesen und Weiden mit Kalkstickstoff zu beachten. Hier erfolgt die Anwendung am besten im Herbst oder im Laufe des Winters, wenn das Wachstum der Gräser abgeschlossen ist bezw. noch nicht begonnen hat. Hierbei kann durch Kalkstickstoff auch auf Wiesen eine Bekämpfung des Unkrautes wie Borstengras, Löwenzahn, Sauerampfer usw. mit Erfolg durchgeführt werden. Die günstige Wirkung von Kalkstickstoff auf Hederich bei rechtzeitiger Anwendung ist allgemein anerkannt; sie muß erfolgen, sobald der Hederich das zweite Blatt zeigt. Dabei

wird zwar die Kulturpflanze auch angegriffen, doch ist sie für gewöhnlich schon so widerstandsfähig, daß sie die Schädigung wieder überwindet und den Stickstoff des Kalkstickstoffs zur kräftigeren Entwicklung ausnutzen kann.

Ammoniumnitrat (Ammoniaksalpeter). Dieser Dünger enthält im Durchschnitt 35% Stickstoff, je zur Hälfte in Form von Ammoniak oder Salpetersäure. Er ist sehr hygroskopisch und sehr explosiv. Wegen dieser letzteren Eigenschaft ist er als Dünger wenig brauchbar. An sich ist seine Düngewirkung günstig; er steht nach unseren Versuchen hierin dem Salpeterstickstoff nicht nach, wenn er mit der Aussaat in den Boden gebracht wird. Als Kopfdünger angewendet bleibt er in der Wirkung etwas zurück. Vor dem Salpeter hat er voraus, daß er den Stickstoff sowohl in der schnell wirkenden Nitratform, als in der allmählich wirkenden Ammoniakform enthält.

Von den durch Verwendung von Ammonnitrat hergestellten Mischdüngern haben eine praktische Bedeutung erlangt: Kaliammonsalpeter und Leunasalpeter (vergl. S. 125). Kaliammonsalpeter enthält 16% Stickstoff, je zur Hälfte als Ammoniak und als Salpetersäure und 25% Kali als Chlorkalium. Der hieraus folgende Chlorgehalt ist bei der Verwendung des Düngers zu Kartoffeln zu beachten, wenn eine Kopfdüngung in Frage steht. An sich kann es fraglich sein, ob bei der Anwendung des Kaliammonsalpeters als Kopfdünger das Kali noch ausreichend ausgenutzt wird. Wenn der Dünger vor der Aussaat in den Boden kommt, ist mit einer guten Kaliwirkung zu rechnen. Für die Wirkung des Stickstoffs gilt das vorher für den Stickstoff des Ammonnitrats Gesagte.

Ammonsulfatsalpeter (Leunasalpeter) enthält 26% Stickstoff und zwar rund $^1/_4$ in Form von Nitrat und $^3/_4$ in Form von Ammoniak. Durch diese Bindungsformen des Stickstoffs ist seine Anwendung und Wirkung bestimmt. Er kann als Kopfdünger dienen, jedoch ist seine Anwendung in dieser Form besonders auf kalkhaltigem Boden aus den früher bei schwefelsaurem Ammoniak angegebenen Gründen wenig empfehlenswert. Am besten erfolgt die Anwendung bei der Bestellung; hierbei muß eine gute Wirkung erwartet werden, da er durch den vorhandenen Salpeterstickstoff den Pflanzen eine sofort ausnutzbare Stickstoffquelle bietet und sie durch den Ammoniakstickstoff nachher in der ganzen Wachstumszeit mit Stickstoff versorgt. Was früher über die Wirkung und das Verhalten im Boden von dem Nitrat- und Salpeterstickstoff gesagt wurde, gilt auch für den Leunasalpeter.

Harnstoff mit rund 46% Stickstoff steht in der Wirkung und Ausnutzung des Stickstoffs dem Salpeterstickstoff nicht nach; es haben sich bei unseren Versuchen zwar Schwankungen ergeben, jedoch sind sie nicht größer, als sie auch beim Salpeter oder beim schwefelsauren Ammoniak vorgekommen sind. Auf Lehmboden ist die Wirkung an-

scheinend günstiger als auf Sandboden. Vielleicht darf man die ungünstigere Wirkung des Harnstoffs auf Sandboden darin suchen, daß das aus dem Harnstoff zunächst entstandene Ammoniak sich im Boden angesammelt und auf das Pflanzenwachstum nachteilig gewirkt hat. Eine Nachwirkung des Harnstoffs ist bisher nicht festgestellt, sodaß anzunehmen ist, daß der Stickstoff durch die erste Ernte vollständig ausgenutzt wird. Die Versuche über die Art der Anwendung des Harnstoffs haben noch zu keinem eindeutigen Ergebnis geführt; teils hat sich beim oberflächlichen Ausstreuen des Harnstoffs eine günstige Wirkung des Stickstoffs gezeigt, teils ist aber die Wirkung zurückgeblieben; hier wird die Bodenbeschaffenheit insofern einen Einfluß ausüben, als dadurch die Nitrifikation beschleunigt wird. Im allgemeinen dürften gegen die oberflächliche Anwendung des Harnstoffs Bedenken nicht bestehen.

Burkheisers Salz enthielt 19,5% Stickstoff und zwar war $^1/_3$ davon als Ammonsulfit, $^2/_3$ als Ammonsulfat vorhanden. Die Wirkung des Stickstoffs in diesem Salz ist etwas geringer als diejenige des Ammonsulfatstickstoffs. Auch die Ausnutzung des Stickstoffs ist bei den von E. Haselhoff mit Senf und Buchweizen ausgeführten Versuchen geringer gewesen. Auf Sandboden bleibt dieses Burkheisers Salz anscheinend mehr zurück als auf Lehmboden.

Ammoniumbikarbonat, welches E. Haselhoff bei seinen Versuchen benutzt hat, enthielt 16,81% Stickstoff. Die Ansicht, daß sich bei der Anwendung dieses Salzes zu Düngezwecken Stickstoff verflüchtigen könnte, dürfte nicht ganz zutreffend sein; in jedem Falle scheint diese Gefahr überschätzt zu sein, wie unsere Versuche gezeigt haben. Dabei hat sich ferner ergeben, daß besonders auf Kalkboden mit größeren Verlusten zu rechnen ist. Man wird sie zurückdrängen, wenn man für ein baldiges Einbringen des Düngers in den Boden sorgt; eine Verwendung als Kopfdünger kann nicht in Frage kommen. Bei Versuchen mit Kartoffeln hat Ammoniumbikarbonat eine Wirkung gezeigt, die derjenigen des Stickstoffs im Ammonsulfat sehr nahe kommt; bei Futterrunkeln ist die Wirkung ungünstiger gewesen.

Blutmehl hat eine günstige Stickstoffwirkung gezeigt; letztere macht etwa 70% derjenigen des Salpeterstickstoffs aus. Hornmehl bleibt in seiner Stickstoffwirkung nicht wesentlich zurück. Anders ist es mit Ledermehl. E. Haselhoff findet in Übereinstimmung mit anderweitigen Versuchen eine sehr geringe Wirkung und Ausnutzung des Stickstoffs im Ledermehl. Einen besseren Erfolg zeigt das gedämpfte Ledermehl und noch günstiger verhält sich das mit Schwefelsäure aufgeschlossene Ledermehl. Letzteres zeigt eine Wirkung bis zu 70% derjenigen des Ammonsulfatstickstoffes; bei dem gedämpften Ledermehl steigt dieser Wert bis auf 62%, während er sich bei rohem Ledermehl auf höchstens 22% stellt. Hierbei handelt es sich um die erst-

jährige Wirkung und ist eine etwaige Nachwirkung unberücksichtigt geblieben. Die Düngewirkung der Wollabfälle wird wesentlich von dem Erfolg der Kompostierung abhängen. Ohne eine solche Kompostierung ist die Wirkung gering. Die Versuche mit Rehmsdorfer Dünger zeigen, daß die Wirkung des Stickstoffs dieses Düngers gegenüber dem Stickstoff des schwefelsauren Ammoniaks erheblich zurückbleibt. Diese geringere Wirkung tritt um so schärfer hervor, je später der Rehmsdorfer Dünger angewendet wird. Wenn man in Amerika auf Grund der nach dem Neutral-Permanganat-Verfahren festgestellten Löslichkeit des Stickstoffs zu einer günstigeren Bewertung der Düngewirkung des Rehmsdorfer Düngers kommt, so muß darauf hingewiesen werden, daß unsere Versuchsergebnisse keine Unterlage für den Schluß bieten, daß die nach diesem Verfahren erhaltenen Ergebnisse einen Anhalt für die Beurteilung der Stickstoffwirkung gewähren. Galalithstickstoff hat auf Lehmboden recht günstig gewirkt; auf Sandboden geht der Ertrag zurück. Der Feinheitsgrad dieser Abfälle spielt bei der Höhe der Wirkung eine große Rolle; je feiner die Abfälle sind, desto größer ist die Wirkung. Bei diesen Abfällen ist darauf zu achten, daß sie zinkhaltig sind, da zu ihrer Weißfärbung Lithopone, aus Zinksulfid und Bariumsulfid bestehend, verwendet werden. Solange keine Lösung des Zinks eintritt, ist eine nachteilige Wirkung nicht zu befürchten; anders ist es aber, wenn diese Abfälle mit Schwefelsäure behandelt werden.

Diese zuletzt besprochenen Dünger organischen Ursprungs haben für den landwirtschaftlichen Betrieb keine wesentliche Bedeutung; sie werden bei ihrer geringen Menge immer nur einen örtlichen Wert haben und vor allem in Kleinbetrieben wie Gartenkulturen usw. verwendet werden. Es ist aber zu beachten, daß diese organischen Dünger nicht nur durch ihren Stickstoffgehalt wirken, sondern auch durch ihre organischen Stoffe Material für die Humusbildung liefern. Deshalb wird durch eine Bewertung allein nach der Stickstoffwirkung nicht der volle Wert dieser Dünger erfaßt.

4. Phosphorsäuredünger

Über die Bedeutung des Phosphors für den Aufbau des Pflanzenkörpers ist bereits früher (Bd. I, S. 108) eingehend berichtet worden, sodaß ich auf diese Ausführungen hierüber verweisen kann. Es unterliegt danach keinem Zweifel, daß der Phosphor ein für das Gedeihen der Pflanzen notwendiger Nährstoff ist. Zugleich haben die bisherigen Ausführungen bereits dargetan, daß die Phosphorsäure, aus der die Pflanzen ihre Phosphornahrung schöpfen, nur dann zur vollen Wirkung kommen kann, wenn sie den Pflanzen zugleich mit den übrigen Nährstoffen, insbesondere Stickstoff, Kali, Kalk in einem Verhältnis, welches dem Bedürfnis der Pflanzen angepaßt ist, dargereicht wird.

a) Phosphorsäurebedürfnis der Kulturböden

Die für das normale Wachstum der Pflanzen nötige Phosphorsäuremenge ist in erster Linie dem Boden zu entnehmen, wobei es zunächst dahingestellt sein mag, ob diese Bodenphosphorsäure aus dem ursprünglichen Bodengestein oder aus früheren Düngungen stammt. In dem Boden ist die Phosphorsäure in jedem Falle sehr ungleich verteilt. Dazu kommt, was für die Ausnutzung der Bodenphosphorsäure für die Pflanzenernährung besonders wichtig ist, daß die Löslichkeit der Bodenphosphorsäure sehr verschieden ist. Deshalb sagt uns auch die Gesamtmenge der im Boden vorhandenen Phosphorsäure nichts über die Düngebedürftigkeit des Bodens für Phosphorsäure. Diese Gesamtmenge an Phosphorsäure im Boden ist nicht gering; sie macht bei einem durchschnittlichen Gehalt von 0,1% Phosphorsäure bei 20—25 cm starker Bodenschicht rund 3000 kg je ha aus, also eine recht erhebliche Menge, durch die der Phosphorsäurebedarf vieler Ernten gedeckt werden könnte; und doch hat sich eine große Anzahl von Böden — auch solche, welche den angegebenen Durchschnittsgehalt an Phosphorsäure oder mehr ergeben haben — als phosphorsäurebedürftig erwiesen. Die Berechnungen, welche darüber ausgeführt worden sind, haben keine einwandfreie Grundlage und können deshalb nicht als allgemein zutreffend angesehen werden. Es ist dabei von Feststellungen ausgegangen, welche nicht gleichmäßig auf das ganze Reich verteilt waren. Infolgedessen können uns die errechneten Zahlen kein zutreffendes Bild von der Phosphorsäurebedürftigkeit unserer Böden geben, und sehe ich deshalb von der Wiedergabe dieser Zahlen ab. Aber daran ist kein Zweifel, daß viele unserer Böden selbst da, wo bisher immer reichlich mit Phosphorsäure gedüngt worden ist, also nicht einmal nur der ursprüngliche Bodenvorrat an Phosphorsäure in Frage kommt, phosphorsäurebedürftig sind.

Die Bodenphosphorsäure ist letzten Endes in der Hauptsache auf das Kalkphosphatmineral Apatit zurückzuführen. Körnchen dieses Gesteins finden sich überall im Boden vor; sie verwittern nach und nach und geben dadurch Phosphorsäure für weitere Umsetzungen frei. Die gelöste Phosphorsäure versickert im Boden und bildet mit Kalk-, Eisen-, Aluminium-, Magnesium- oder anderen Verbindungen Phosphate, welche nun wieder in irgendeiner Form den Organismen im Boden als Phosphorsäurenahrung dienen können. Diese Bindung der gelösten Phosphorsäure durch andere Bodenbestandteile, die als Phosphorsäureabsorption bezeichnet wird, ist eine besonders zu beachtende Tatsache, da sie für die Löslichkeit und Wirkung der Phosphorsäure von großer Bedeutung ist; wir werden deshalb noch öfters darauf zurückkommen müssen. Für die Ausnutzung der ursprünglichen Bodenphosphorsäure ist wesentlich, daß die Phosphorsäure des Apatits in Wasser und selbst

in kohlensäurehaltigem Wasser sehr schwer löslich ist; darin liegt eine Gewähr für einen sehr langsamen Verlauf der Zersetzung des Apatits bezw. der Umsetzung der Apatitphosphorsäure, sodaß eine Erschöpfung dieser Phosphorsäurequelle durch Auswaschung der Phosphorsäure als ausgeschlossen gelten darf. Der Kreislauf der Phosphorsäure ist aber mit dieser Umsetzung der Apatitphosphorsäure im Boden noch nicht abgeschlossen. Die Phosphorsäure wird im Boden von niederen und höheren Pflanzen aufgenommen und kommt damit auch in die tierische Nahrung. Durch die Verwesung der organischen Reste von Pflanzen und Tieren und durch die tierischen Ausscheidungen kommt die Phosphorsäure wieder in den Boden und kehrt damit an ihren Ursprungsort zurück, sodaß sie den Kreislauf von neuem beginnen kann. Wir können darum in der Tat alle Phosphate im Boden sowohl mineralischer wie wesentlich organischer Art letzten Endes auf den Apatit zurückführen.

Es wird eine besondere Aufgabe sein, diesen Vorrat an Phosphorsäure im Boden der Pflanzenernährung zu erschließen; je mehr es geschieht, desto mehr können wir die Zufuhr der Phosphorsäure durch Dünger einschränken. Im allgemeinen genügt aber die im Boden vorhandene Menge an Phosphorsäure, die von den Pflanzen für ihre Ernährung verwendet werden kann, nicht, um den Phosphorsäurebedarf unserer Kulturpflanzen für die Erzielung normaler Ernten zu decken. Ich habe früher schon hervorgehoben (S. 111), daß das Düngungsbedürfnis eines Bodens für einen Nährstoff nicht aus dem Gehalt der Pflanzen an diesem Nährstoff gefolgert werden kann; das gilt auch selbstredend für die Phosphorsäure und ist hier um so mehr zu beachten, weil die Phosphorsäure infolge ihrer Absorption im Boden nur zu einem sehr geringen Teil von den Pflanzen aufgenommen werden kann. Hierbei verhalten sich die Pflanzen physiologisch nicht gleichartig. Th. Pfeiffer stellte fest, daß die Pflanzen ein sehr verschiedenes Aufschließungsvermögen gegenüber den schwerlöslichen Bodenphosphaten haben; es ist z. B. bei Buchweizen größer als bei Hafer, sodaß Buchweizen die Bodenvorräte an Phosphorsäure für seine Ernährung besser ausnutzen kann und der Zufuhr leicht löslicher Phosphorsäure in der Düngung in geringerem Grade oder gar nicht bedarf. Darin liegt die Erklärung dafür, daß Buchweizen trotz seines starken Phosphorsäurebedürfnisses durch die Zufuhr größerer Mengen leichtlöslicher Phosphorsäure geschädigt werden kann. Es ist dieses eine Beobachtung, welche ihr Gegenstück in dem Verhalten der Lupine gegenüber Kalk findet, worauf später noch zurückzukommen ist, wonach die Lupine trotz ihres starken Kalkbedürfnisses dennoch eine große Empfindlichkeit gegenüber Kalkdüngung zeigt.

Dieses verschiedene Verhalten der Pflanzen gegenüber der Bodenphosphorsäure konnten Th. Dietrich und später E. Haselhoff bei ihren mit verschiedenen Gesteinsarten ausgeführten Versuchen in ein-

wandfreier Weise ebenfalls feststellen. Diese Versuche, bei denen frisch gebrochenes, also ursprüngliches Gestein als Bodenmaterial diente, lassen den Einfluß des Kalkes auf die Gesteinsphosphorsäure deutlich hervortreten; ich führe aus den von Haselhoff ausgeführten Untersuchungen die folgenden Zahlen an. In einer Vegetationsperiode wurden aus den Gesteinen, welche nur mit destilliertem Wasser feucht gehalten wurden, die nachstehenden Mengen Phosphorsäure, auf 11 kg Gestein berechnet, aufgenommen:

a) Gehalt des Gesteins an:

	Buntsandstein	Grauwacke	Basalt	Muschelkalk
Phosphorsäure . . .	0,15 %	0,38 %	0,77 %	0,20 %
Kalk	0,50 „	3,30 „	11,00 „	52,90 „

b) Aus 11 kg Gestein aufgenommene Menge Phosphorsäure:

Erbsen	0,362 g	0,026 g	0,050 g	0,019 g
Pferdebohnen	0,282 „	0,006 „	0,010 „	0,004 „
Lupinen	0,505 „	0,021 „	0,006 „	0,008 „
Sommer-Gerste . . .	0,018 „	0,000 „	0,001 „	0,000 „
Sommer-Weizen . . .	0,056 „	0,001 „	0,001 „	0,000 „

Obwohl der prozentige Gehalt des Buntsandsteins an Phosphorsäure am niedrigsten ist, nehmen alle Pflanzen daraus die größte Menge Phosphorsäure auf. Wie sehr der Kalkgehalt der Gesteine die Löslichkeit der Phosphorsäure beeinflußt, zeigt auch die Lösung der Phosphorsäure in diesen Gesteinen unter dem Einfluß der Atmosphärilien. Durch die Einwirkung der natürlichen Niederschläge, Wärme und Luft wurden in vier Jahren von der in den Gesteinen vorhandenen Phosphorsäure, ausgedrückt in Prozenten der Gesamtphosphorsäure gelöst in: Buntsandstein 0,086%, Grauwacke 0,006%, Basalt 0 und Muschelkalk 0. Diese Zahlen zeigen das verschiedene Verhalten dieser Gesteine in der Löslichkeit ihrer Phosporsäure im natürlichen Zersetzungsprozeß; da dem Rückgange der gelösten Phosphorsäuremenge ein Ansteigen des Kalkgehaltes in den Gesteinen parallel geht, so liegt der Zusammenhang zwischen der Löslichkeit der Phosphorsäure und dem Kalkgehalt des Gesteins nahe. Es wird nachher noch auf eine andere Ursache der unterschiedlichen Wirkung von Leguminosen und Gramineen zurückzukommen sein.

Aus diesen Beobachtungen ergaben sich zwei Tatsachen, nämlich die verschiedene Lösungskraft der Leguminosen und Gramineen auf die Gesteinsphosphorsäure und der Einfluß des Kalkes hierauf. Wir dürfen ein Gleiches auch für die Bodenphosphorsäure allgemein annehmen. Diese Feststellungen finden außer in anderen Versuchen auch eine Bestätigung in den Untersuchungen von M. v. Wrangell; ich führe aus

den Schlußfolgerungen nur die folgenden an: „Der Mais verwertet schwerlösliche Phosphate nur mit Hilfe saurer Reaktion, welche durch physiologisch saure Nebendüngung hervorgerufen werden kann. Zugabe von Kalk hebt die Wirkung der Säurereaktion und damit auch die Phosphorsäureaufnahme vollständig auf. Der Senf ist imstande, die Phosphorsäure aus schwerlöslichen Phosphaten auch bei mehr alkalischer Reaktion aufzunehmen. Er ist dabei verhältnismäßig unabhängiger von Kalkzugabe, alkalischer resp. saurer Reaktion, soweit dieselben nicht eine solche Stärke erreichen, daß unmittelbare Giftwirkungen und Schädigungen eintreten. Der Mais nimmt Kalk und Phosphorsäure etwa in einem Verhältnis von drei Molekülen Kalk zu einem Molekül Phosphorsäure auf. Der Senf verbraucht bei etwa gleichem Phosphorsäurekonsum 15 Moleküle Kalk. Der Kalk-Phosphorsäurefaktor gestattet einen Rückschluß auf die Fähigkeit der Pflanzen, Phosphorsäure zu verwerten und in ursprünglich neutralem Boden nach beendetem Wachstum eine Reaktionsänderung hervorzurufen." Der von M. v. Wrangell aus dem Gehalt der Pflanzen an Kalk und Phosphorsäure errechnete Kalk-Phosphorsäurefaktor, d. h. das Verhältnis von $\frac{\text{Molekülen Kalk}}{\text{Molekülen Phosphorsäure}}$ zeigt bei den einzelnen Pflanzen erhebliche Abweichungen, wie folgende Zahlen erkennen lassen:

Pflanzen	100 Teile Reinasche enthalten		Kalk-Phosphorsäurefaktor
	Kalk %	Phosphorsäure %	
Buchweizen	40,41	6,10	17,0
Senf (in der Trockensubstanz) . .	3,23	0,54	15,0
Mais	13,66	10,00	3,5
Hafer	6,39	9,88	1,6

Diese Zahlen lassen sich unter Berücksichtigung der Ergebnisse von Vegetationsversuchen dahin deuten, daß ein hoher Kalkphosphorsäurefaktor für eine gute Verwertung schwerlöslicher Bodenphosphorsäure spricht, während umgekehrt ein niedriger Kalkphosphorsäurefaktor eine schlechtere Ausnutzung dieser Bodenphosphorsäure vermuten läßt. Dieser von M. v. Wrangell aus ihren Versuchen gezogenen Schlußfolgerung ist von Pfeiffer, Lemmermann, Mitscherlich, Hasenbäumer widersprochen worden, indem sie ein konstantes molekulares Verhältnis von Kalk zu Phosphorsäure in den Pflanzen ablehnen. Neuerdings wendet sich auch E. Holzapfel gegen die Ansicht von M. v. Wrangell, wonach das Aufschließungsvermögen der Pflanzen für Phosphorsäure im Boden mit dem Kalkphosphorsäurefaktor steigt, da dieser kein sicherer Maßstab für den Phosphorsäurebedarf der Pflanzen sein kann, weil „der-

selbe durch die je nach dem Kalkgehalt des Bodens stark schwankende Kalkaufnahme bedingt ist, während die Aufnahme an Phosphorsäure ziemlich gleich bleibt". Es bedarf danach noch weiterer Prüfungen, bevor wir die Feststellungen von M. v. Wrangell als gesetzmäßige Regelmäßigkeit annehmen können. Das stört aber nicht die Richtigkeit der Erkenntnis, daß der Kalkgehalt des Bodens einen entscheidenden Einfluß auf die Wirkung der Bodenphosphorsäure und weiterhin allgemein der Düngungsphosphorsäure hat. Dieser Einfluß des Kalkes auf die Aufnahme der Phosphorsäure durch die Pflanzen ist schon lange erkannt; abgesehen von den bisher mitgeteilten Beobachtungen verweise ich nur noch auf die später noch zu besprechende Wirkung der Phosphorsäure des Knochenmehles, welche nach den zunächst von Kellner und Böttcher, später auch von anderen Forschern ausgeführten Versuchen durch Kalk sehr beeinträchtigt wird.

Es ist bereits die Absorption der gelösten Phosphorsäure im Boden kurz erwähnt worden. Man kann annehmen, daß hierbei zunächst Dikalziumphosphat gebildet wird, welches sich weiter in Trikalziumphosphat umsetzt; dadurch wird die Phosphorsäure zwar im Boden festgehalten, aber ihre Ausnutzung durch die Pflanzen wieder erschwert. Wenn an die Stelle von Kalk bei der Bindung von Phosphorsäure im Boden Eisen oder Aluminium treten, sodaß Eisen- und Tonerdephosphate entstehen, so kann die Wirkung der Phosphorsäure noch mehr zurücktreten, weil die Pflanzen diesen Phosphaten gegenüber nur eine geringe Aufschließungskraft haben und auch die kohlensäurehaltige Bodenlösung hier mehr oder weniger versagt im Gegensatz zu ihrer Wirkung auf die Kalksalze. Dieses gilt besonders für das Eisenphosphat. Man nimmt an, daß die Phosphorsäure in diesen Phosphaten im frischgefällten Zustande, wie er bei der Absorption vorliegt, den Pflanzen leichter zugänglich ist, und es ist deshalb wahrscheinlich, daß besonders bald nach der Absorption Phosphorsäure für die Pflanzenernährung aus diesen Phosphaten frei werden kann; es bleibt aber noch zu prüfen, ob die in diesem Falle gelöste Menge Phosphorsäure so erheblich ist, daß sie für die Pflanzenernährung eine praktische Bedeutung hat.

Nach den Beobachtungen von Pfeiffer, Blanck u. a. m. spielt auch die Kieselsäure bei der Phosphorsäureabsorption eine große Rolle, welche oft zu wenig beachtet wird. Diese Umsetzung soll nach Stoklasa aber langsamer verlaufen als diejenige mit kohlensaurem Kalk. Sie lag auch als Erklärung für die von Lemmermann mitgeteilte günstige Wirkung der Kieselsäure bei Mangel an Phosphorsäure nahe (Bd. I, S. 116). Nach der Feststellung von W. Krüger besteht aber dieser Einfluß der Kieselsäure auf die Wirkung der Phosphorsäure nicht.

Die Absorptionskraft des Bodens für Phosphorsäure ist für die Wirkung dieses Nährstoffs nicht nur wegen der ungünstigen Wirkung

auf die Löslichkeit der Phosphorsäure wichtig, sondern auch deshalb, weil diese Bindung der löslichen Phosphorsäure Verluste durch Auswaschen der Phosphorsäure verhindert, was zweifellos für die Beurteilung der Phosphorsäurewirkung sehr wertvoll ist. Diese Absorptionswirkung ist je nach dem Boden verschieden, was nach den bisherigen Angaben nicht überraschen kann. Als Beweis dafür gebe ich Ergebnisse von Versuchen wieder, welche J. König und E. Haselhoff auf kleinen künstlichen Versuchswiesen ausgeführt haben, welche berieselt werden konnten und bei denen durch eine eingebaute Drainage die Sickerwasser aus dem Boden abgeleitet und aufgefangen werden konnten. Die Untersuchungen haben sich auf Phosphorsäure und Kali erstreckt und es sollen die für beide Nährstoffe ermittelten Zahlen angegeben werden, um zugleich für das Verhalten dieser Nährstoffe einen übersichtlichen Vergleich zu haben. Die Versuche sind auf Moor-, Sand-, Kalk- und Lehmboden ausgeführt worden; die Ergebnisse sind für Kalk- und Lehmboden gleich gewesen; hier soll daher nur das mittlere Ergebnis beider Böden angegeben werden. Von den in der Düngung mit Superphosphat und Kainit gegebenen Nährstoffen (abzüglich der in oberirdisch abfließendem Rieselwasser vorhandenen Nährstoffe) waren im Drainwasser in Prozenten der zugeführten Nährstoffe vorhanden bezw. vom Boden festgehalten die folgenden Mengen:

Von den in der Düngung gegebenen Nährstoffen sind:	1. Versuch: Boden in trockenem Zustande gedüngt; nach zweitägigem Warten berieselt			2. Versuch: Boden in feuchtem Zustande gedüngt und sofort berieselt			3. Versuch: Boden in feuchtem Zustande gedüngt; nach elftägigem Warten berieselt		
	Moorboden	Sandboden	Kalk- u. Lehmb.	Moorboden	Sandboden	Kalk-u. Lehmb.	Moorboden	Sandboden	Kalk- u. Lehmb.
1. Phosphorsäure:									
a) im Drainwasser . .	0 %	0 %	0 %	16,0 %	0 %	19,4 %	0 %	0 %	0 %
b) absorbiert	100,0 %	100,0 %	100,0 %	84,0 „	100,0 %	80,6 „	100,0 %	100,0 %	100,0 %
2. Kali:									
a) im Drainwasser . .	72,8 „	29,4 „	27,7 „	64,3 „	43,0 „	21,6 „	35,1 „	30,0 „	21,5 „
b) absorbiert	27,2 „	70,6 „	72,3 „	35,7 „	57,0 „	78,4 „	64,9 „	70,0 „	78,5 „

Die Versuche zeigen den Unterschied in der Absorption der Nährstoffe, wenn mit dem Berieseln bald nach der Düngung begonnen oder einige Zeit damit gewartet wird; doch soll darauf hier nicht näher eingegangen werden. An dieser Stelle interessiert uns in erster Linie die Absorption der Nährstoffe bei richtiger Anwendung der Düngemittel, wie

sie uns Versuch 3 zeigt. Wir erkennen die starke Absorption der Phosphorsäure in allen Böden. Beim Kali ist die Absorption nicht so groß; sie ist im Kalk- und Lehmboden am günstigsten. Diese Versuche zeigen auch, wie schnell die Absorption der Phosphorsäure erfolgt ist. Gleiches folgt auch aus einem Versuch von Heinrich, wonach die wasserlösliche Phosphorsäure des Monokalziumphosphats im Superphosphat im Boden in unlösliches Dikalziumphosphat umgesetzt war in Prozenten der angewendeten Phosphorsäure in:

Stunden	Sandboden	lehmigem Sandboden	Lehmboden	Kalkmergelboden
24	40,8%	90,2%	85,7%	98,0%
48	97,8 „	98,0 „	98,0 „	98,0 „

Durch diese infolge der Absorption entstehende Unlöslichkeit der Phosphorsäure wird ihre Beweglichkeit im Boden gehindert; darin liegt im wesentlichen mit der Grund für die geringe Ausnutzung der Düngungsphosphorsäure durch die Pflanzen, worauf an anderer Stelle (Seite 111) schon eingegangen wurde.

M. v. Wrangell hat versucht, durch ihre Untersuchungen Aufklärung über die Lösung der Phosphate und damit über die Phosphorsäureversorgung der Pflanzen im Boden zu schaffen. Hierfür bestimmend sind einmal die Phosphorsäurekonzentration der Bodenlösung, welche für die verschiedenen Böden sehr wechselt und von dem Wassergehalt des Bodens abhängt, ferner die Geschwindigkeit, mit der das durch Verdünnung der Lösung mit Wasser oder durch Entnahme von Nährstoffen durch die Pflanze gestörte Gleichgewicht zwischen Boden und Bodenlösung wieder erreicht wird, und schließlich der Gesamtvorrat an löslicher Phosphorsäure im Boden. Nach M. v. Wrangell hängt die Konzentration der Bodenlösung mehr von der Absorption der Phosphorsäure durch den Boden als von der chemischen Natur der Phosphate ab. Sie folgert aus ihren Untersuchungen, die große Unterschiede in den Löslichkeitsverhältnissen der Kalk-, Magnesium-, Eisen- und Aluminiumphosphate ergeben haben: „das Inlösunggehen jedes einzelnen Salzes kann durch Faktoren wie Gegenwart von Kalksalzen, saure oder alkalische Reaktion in ganz verschiedenem Sinne verändert werden, sodaß wir gerade in diesem verschiedenen Verhalten Möglichkeiten suchen können, um durch Veränderungen der natürlichen Bedingungen verschiedener Böden die Phosphorsäure in denselben löslicher zu machen."

In dieser Hinsicht hat in neuerer Zeit besonders der Einfluß der Bodenreaktion Beachtung gefunden und sind vor allem hierfür die bei der Umsetzung der Düngersalze im Boden entstehenden Säuren, worauf früher (S. 114) schon näher eingegangen wurde, in Anspruch genommen. Auf die Einwirkung dieser physiologischsauren Düngersalze auf den Boden und insbesondere auf die Bodenphosphate hat J. König schon

vor mehr als 30 Jahren aufmerksam gemacht und auf die Notwendigkeit des Wechsels bei der Anwendung dieser Düngemittel hingewiesen. Später ist durch Prianischnikow die Bedeutung des Einflusses dieser Düngesalze auf die Löslichkeit der Phosphate erwiesen und haben diese Ergebnisse durch die Versuche von Pfeiffer, Kellner, Mitscherlich, Haselhoff u. a. m. Bestätigung gefunden, in den letzten Jahren auch durch die Untersuchungen von M. v. Wrangell, deren Mitteilung dann Aereboe veranlaßt hat, darauf ein besonderes System der Ausnutzung der Bodenphosphorsäure aufzubauen. Danach sollen Pflanzen, welche dem Boden besonders viel Phosphorsäure entziehen, also Lupinen, Serradella, Pferdebohnen, Luzerne, Klee, Senf, Buchweizen durch Düngung mit physiologischsauren Stickstoffdüngern und Kalisalzen in ihrem Wachstum gefördert und dadurch zu stärkerer Ausnutzung der Bodenphosphorsäure befähigt werden, sodaß sich die Düngung dieser Pflanzen mit Phosphorsäure erübrigt und durch ihren Anbau das umlaufende Phosphorsäurekapital der Wirtschaft auf Kosten der Bodenphosphorsäure vermehrt. Voraussetzung für das Gelingen dieses Vorgehens ist, daß diese Pflanzen in dem Bereich ihrer Wurzeln genügend Phosphorsäure zur Aufnahme vorfinden, die auch dem Einflusse der durch die Zersetzung der Düngesalze entstehenden Säuren unterliegen. Weiter ist zu beachten, daß, wie Lemmermann hervorhebt, bei Anwendung von Kalisalzen ein Basenaustausch mit Tonerde eintritt, der zur Bildung von schwerlöslichem Aluminiumphosphat führt, das kaum erhebliche Mengen Phosphorsäure für die Pflanzenernährung abgeben wird. Andere Umsetzungen ähnlicher Art im Boden können die Wirkung der Düngemittelsäuren auf die Bodenphosphate aufheben. Auf den nachteiligen Einfluß der entstehenden Bodensäure auf das Wachstum der Pflanzen braucht hier nicht nochmals eingegangen zu werden; die fortgesetzte Anwendung dieses Aereboe-Wrangellschen Systems könnte leicht zu einer Vermehrung der Bodensäure beitragen. Das ist noch mehr zu befürchten, wenn man bei Halmfrüchten einseitig die physiologischsauren Düngemittel bevorzugt und die direkte Anwendung von Kalk beim Anbau dieser Früchte vermeidet, um auch durch diese Pflanzen die Bodenphosphorsäure stärker auszunutzen. Ein besonderer Nachteil dieses Verfahrens scheint mir darin zu liegen, daß durch die starke Stickstoffdüngung der Leguminosen die Ausnutzung des Luftstickstoffs durch diese Pflanzen für ihre Ernährung herabgedrückt und damit die kostenlose Stickstoffquelle dieser Pflanzen, also auch die Versorgung des Bodens mit billigem Stickstoff verschlossen wird. Dieser Nachteil kann vermieden werden, wenn wir die Leguminosen nicht einseitig stark mit Stickstoff und Kali, sondern ausreichend mit Phosphorsäure und Kali düngen. Dadurch wird das Wachstum der Leguminosen gefördert und ihr Aneignungsvermögen für Luftstickstoff gestärkt; sie bringen auch dann Bodenphosphorsäure in Lösung

und vermehren so das umlaufende Phosphorsäurekapital in der Wirtschaft. Wir erreichen damit nicht nur einen Phosphorsäuregewinn, sondern auch eine Vermehrung des Stickstoffs in kostenloser Weise und setzen uns nicht der Gefahr der Bodenversauerung aus. Darin ist Aereboe zuzustimmen, daß wir durch den stärkeren Anbau dieser meistens zur Fütterung oder auch zur Gründüngung dienenden Pflanzen unser Düngerkapital in der Wirtschaft stark vermehren können. Die in den Futterpflanzen aufgespeicherte Phosphorsäure bleibt zu einem erheblichen Teile in der Wirtschaft und kommt in dem Stallmist wieder in den Boden. Die Phosphorsäure der Gründüngungspflanzen wird der Pflanzenernährung ohne Verlust wieder zugeführt. Das sind zwei Quellen für Phosphorsäure, welche wir durch verstärkten Anbau derjenigen Pflanzen, welche die Bodenphosphorsäure stark ausnutzen können, besonders schützen und pfleglich behandeln sollen. Über den Gehalt und die Wirkung der Phosphorsäure in Stallmist (Seite 73) und Gründünger (Seite 96) ist bereits früher eingehend berichtet worden, sodaß hier auf diese früheren Mitteilungen verwiesen werden kann.

Die oben erwähnte bessere Ausnutzung der Bodenphosphorsäure durch Leguminosen ist auch von Th. Dietrich und später von E. Haselhoff durch die Versuche im unverwitterten Gestein nachgewiesen worden. Besonders die Versuche des letzteren in Basalt, Muschelkalk, Grauwacke und Buntsandstein, welche auch den Einfluß der Düngung, des Fruchtwechsels, des Frostes, der atmosphärischen Niederschläge berücksichtigen, lassen darüber keinen Zweifel aufkommen, daß den zu den Versuchen verwendeten Pferdebohnen, Erbsen und Lupinen eine größere Aufschließungskraft für die Bodenphosphorsäure zukommt als Weizen und Gerste. Sie widerlegen auch den Einwand, daß die Leguminosen infolge der besseren Versorgung mit Stickstoff durch die Ausnutzung des Luftstickstoffs gegenüber den Gramineen hinsichtlich der Ausnutzung der Bodenphosphorsäure günstiger gestellt seien; die Versuche zeigen, daß der Unterschied in der Aufnahme der Bodenphosphorsäure durch Leguminosen und Gramineen auch da besteht, wo beide Pflanzen genügend mit Stickstoff versorgt sind. Diese bessere Aufschließungskraft der Leguminosen für Bodenphosphate wird einmal darauf zurückgeführt, daß diese Pflanzen durch ihr gut ausgebildetes Wurzelnetz sich die Phosphorsäure aus einem weiteren Bodenbereich holen können. Weiter besteht die Ansicht, daß die Wurzelsekrete der Leguminosenwurzel einen höheren Säuregrad haben und dadurch stärker lösend auf die Bodenphosphate wirken. Czapek, Mitscherlich u. a. m. wollen der bei der Atmung der Wurzeln entstehenden Kohlensäure die entscheidende Rolle bei dieser lösenden Wirkung der Wurzelsäfte zusprechen, während Pfeiffer, Dyer und besonders Lemmermann angeben, daß neben der Kohlensäure auch noch andere Säuren hierbei in Frage kommen. Nach den Feststellungen

von H. Kappen dürfen wir annehmen, daß beide genannten Faktoren hierbei mitspielen. Die Wirkung dieser sauren Wurzelausscheidungen auf die Bodenphosphate muß durch die Bodenbeschaffenheit in erheblichem Grade beeinflußt werden; sie wird in einem stark kalkhaltigen Boden beeinträchtigt, in einem sauren Boden noch begünstigt werden.

b) Das Phosphorsäurebedürfnis der Pflanzen

In den vorhergehenden Ausführungen hat bereits das verschiedene Phosphorsäurebedürfnis der Pflanzen berührt werden müssen. Insbesondere ist dabei auf das große Phosphorsäurebedürfnis der Leguminosen hingewiesen worden. Dieses können wir besonders auch auf Wiesen beobachten, wo bei ausreichender Kalidüngung durch Phosphorsäure das Wachstum der Leguminosen stark gefördert wird. Die nachstehenden Ergebnisse unserer Versuche auf Basaltboden zeigen dieses; dabei enthielt der Wiesenbestand:

	Gräser	Leguminosen	Kräuter	Moos
1. Versuch				
Ungedüngt	62,0 %	5,0 %	22,0 %	11,0 %
Phosphorsäure + Kali . .	51,0 „	17,0 „	31,4 „	0,6 „
2. Versuch				
Ungedüngt	62,5 „	4,0 „	27,5 „	6,0 „
Phosphorsäure + Kali . .	45,0 „	26,0 „	28,0 „	1,0 „

Außer den Leguminosen haben noch ein besonders starkes Phosphorsäurebedürfnis: Buchweizen, Raps, Senf, Kohlarten, Rüben. Wenn gesagt wird, daß bei Kartoffeln das Phosphorsäurebedürfnis zurücktritt, so gilt dieses nur im Vergleich mit den stark phosphorsäurebedürftigen Rüben; es darf daraus nicht gefolgert werden, daß sich bei Kartoffeln die Zufuhr von Phosphorsäure erübrigt. Bei der Beurteilung des Phosphorsäurebedürfnisses der Kartoffeln ist in der Regel Voraussetzung, daß diese Pflanze in Stallmistdüngung angebaut wird und sie daher die gut wirksame Stallmistphosphorsäure zur Verfügung hat. Letztere muß in Anrechnung gebracht und danach die weitere Phosphorsäurezufuhr bemessen werden; sie wird in den seltensten Fällen unnötig sein.

Der günstige Einfluß der Phosphorsäure auf die Ausbildung des Getreidekorns wird allgemein als richtig anerkannt; man weiß, daß eine reichliche Versorgung der Pflanzen mit Phosphorsäure bei entsprechender Zuführung der sonstigen Pflanzennährstoffe ein volleres Korn liefert. P. Wagner sieht darin nicht eine spezifische Wirkung der Phosphorsäure, sondern führt diese Wirkung darauf zurück, daß

durch diese gute Versorgung des Bodens bezw. der Pflanzen mit Phosphorsäure das für die Ernährung der Pflanzen richtige und für das Wachstum normaler Pflanzen notwendige Nährstoffverhältnis erreicht wird; die mangelhafte Ausbildung der Körner zeigt danach an, daß die Nährstoffe nicht in diesem Verhältnis vorhanden gewesen sind und die Phosphorsäure gefehlt hat.

Es ist auch bei sehr reichlicher oder übermäßig einseitig gesteigerter Phosphorsäuredüngung eine mangelhafte Kornausbildung beobachtet worden, welche dann naturgemäß zu einem Ertragsausfall führen mußte. Man ist geneigt, diese Wirkung der Phosphorsäure mit der reifebeschleunigenden Wirkung der Phosphorsäure in Verbindung zu bringen. Diese Wirkung auf die Kornausbildung wird dadurch erklärlich, daß durch übermäßig starke Phosphorsäuredüngung die Zirkulation der Pflanzensäfte erschwert und dadurch die Bildung von Pflanzensubstanz gehemmt wird. Diese reifebeschleunigende Wirkung der Phosphorsäure kann in besonderen Fällen von großer Bedeutung für den Ernteertrag sein. In entgegengesetzter Richtung wirkt der Stickstoff; der reifeverzögernden Wirkung dieses Nährstoffes kann durch starke Phosphorsäurewirkung in gewissem Grade entgegengewirkt werden, was vor allem für die Qualität des Ertrages wichtig sein kann. Hierin dürfte ein Grund für die günstige Wirkung der Phosphorsäure auf den Zuckergehalt der Rüben und auf den Stärkegehalt der Kartoffeln liegen.

Auf die Zusammensetzung der Pflanzen wirkt die Phosphorsäuredüngung nicht immer in der Weise, daß mit dieser Düngung der Phosphorsäuregehalt der Pflanzen steigt. Es ist wohl nur bei einseitig starker Phosphorsäuredüngung mit einiger Wahrscheinlichkeit mit einer Zunahme der Phosphorsäure in den Pflanzen zu rechnen. Lemmermann nimmt an, daß mit der stärkeren Phosphorsäuredüngung der Proteingehalt der Pflanzen steigt und zwar besonders im Grünfutter und Stroh, weniger in den Körnern; er führt dieses auf die Beziehungen, welche zwischen dem Phosphorsäuregehalt und dem Proteingehalt der Pflanzen bei der Bildung der organischen Substanz bestehen, zurück (vergl. auch Bd. I, S. 110). Wir haben bei unseren Versuchen in dieser Hinsicht eine Regelmäßigkeit nicht feststellen können; zwar fehlen nicht Ergebnisse, welche die Zunahme des Proteingehaltes im Stroh mit der Zunahme der Phosphorsäure in der Düngung zeigen, aber auch das Gegenteil ist beobachtet worden, sodaß aus unseren, an Zahl nicht geringen Untersuchungen eine allgemeine Regelmäßigkeit nicht abgeleitet werden kann. Vielleicht bestehen diese Beziehungen zwischen Phosphorsäuredüngung und Proteingehalt der Pflanzen nur innerhalb bestimmter Grenzen und unter besonderen Wachstumsverhältnissen, worüber erst noch durch eingehendere Untersuchungen Aufklärung geschaffen werden muß.

c) Wirkung der verschiedenen Phosphorsäureformen

Infolge der Einwirkung der Bodenbestandteile auf die Löslichkeit der Phosphorsäure ist ein Vergleich der Wirkung der verschiedenen Phosphorsäureformen noch schwieriger als dieses schon bei den Stickstoffverbindungen der Fall war. Wir sind gewohnt, von der wasserlöslichen Phosphorsäure des Superphosphates als Maßstab auszugehen, weil wir es hierbei mit der wirksamsten Form der Phosphorsäure zu tun haben. Daran ändert auch nichts, daß diese wasserlösliche Phosphorsäure des Monokalziumphosphates, soweit sie nicht von den Pflanzen aufgenommen wird, im Boden in die Diphosphatform übergeht und damit schwerer löslich wird. Sie behält trotzdem zunächst ihren Vorrang, weil sie durch die Bodenflüssigkeit gelöst sich im Boden gleichmäßiger verteilt, sodaß die Pflanzenwurzeln sie überall erreichen, also auch besser ausnutzen können. Das ist ein wesentlicher Vorzug gegenüber allen anderen Phosphorsäureformen, bei denen die Phosphorsäure in fester Substanz und in nicht wasserlöslicher Form in den Boden kommt, nur nach und nach gelöst wird und daher nicht so gleichmäßig im Boden sich ausbreiten kann, als es bei der wasserlöslichen Phosphorsäure der Fall ist. Wir können annehmen, daß die Phosphorsäure in Diphosphatbindung bei längerer Lagerung im Boden in die Triphosphatform übergeht; sie wird dadurch noch schwerer löslich und für die Pflanzen als Nahrung immer unzugänglicher, besonders, wenn dabei die Phosphorsäure an Aluminium und vor allem an Eisen gebunden ist. Die Zeit, in der diese Umbildung geschieht, ist je nach der Bodenbeschaffenheit verschieden und daher auch die Nachwirkung der Phosphorsäure, welche hiervon sehr abhängig ist, schwankend.

Die Phosphorsäure wird in der Diphosphatbindung als Dikalziumphosphat zu Düngezwecken angewendet. Hierbei findet sich oft die Behauptung, daß diese Phosphorsäure ebenso gut wirken müsse wie die wasserlösliche Superphosphatphosphorsäure, weil letztere im Boden ebenfalls in die erstere Diphosphatform übergehe. Dabei wird übersehen, daß das Dikalziumphosphat in fester Form auf den Boden gestreut wird und deshalb die Verteilung seiner Phosphorsäure im Boden nicht so gleichmäßig und ausgedehnt sein kann wie die Phosphorsäure des Superphosphates, die in wasserlöslicher Form in den Boden gelangt und sich hier erst nach ihrer Verteilung in Diphosphat umwandelt und ablagert. Als Wertmesser der Phosphorsäure in Dikalziumphosphat benutzt man die Löslichkeit dieser Phosphorsäure in ammoniakalischer Ammonzitratlösung nach Petermann und nennt die hierdurch gelöste Phosphorsäure zitratlöslich.

Neuerdings hat man auch vorgeschlagen, die Phosphorsäure im Rhenaniaphosphat nach ihrer Zitratlöslichkeit zu bewerten. Die Ver-

suche hierüber sind noch nicht abgeschlossen, sodaß über die Brauchbarkeit dieses Verfahren zur Bewertung der Phosphorsäuren im Rhenaniaphosphat noch nicht abschließend geurteilt werden kann.

Die Löslichkeit der Phosphorsäure in Düngemitteln hat man außer in Wasser und Petermannscher Ammonzitratlösung noch in anderen chemischen Agentien festgestellt, durch Versuche Beziehungen zur Wirkung der Phosphorsäure gesucht und so einen Vergleich der Wirkung der Phosphorsäure der verschiedenen Düngemittel ermöglicht. Die in dieser Weise erhaltenen Vergleichswerte haben selbstredend nur einen bedingten Wert; sie geben uns aber doch einen Anhalt für die Beurteilung des Düngewertes der verschiedenen Phosphatdünger. Als Lösungsmittel hat außer den beiden genannten Mitteln nur noch die zweiprozentige Zitronensäurelösung dauernd Anwendung gefunden und zwar bei der Untersuchung des Thomasmehles, welches bis vor etwa 12 Jahren neben Superphosphat hauptsächlich als Phosphorsäuredünger in Frage kam und auch heute noch als eines der am meisten verwendeten phosphorsäurehaltigen Düngemittel zu gelten hat. Anfangs war Thomasmehl nach dem Gehalt an Gesamtphosphorsäure und Feinmehl gewertet worden. Als Feinmehl galt die Menge Thomasmehl, welche bei halbstündigem Schütteln durch ein Sieb von 0,17 mm Lochweite fiel; man hatte erkannt, daß die Wirkung der Phosphorsäure mit der Feinheit des Thomasmehles stieg. Henneberg hat zuerst auf die Bedeutung des Feinmehles für die Wirkung der Phosphorsäure hingewiesen. Die ursprünglich mit 75% Feinmehl als Norm festgesetzte Grenze wird heute fast immer erheblich überschritten. Als man später erkannte, daß die Wirkung der Thomasmehlphosphorsäure nicht allein von der Feinheit des Düngers abhängt, sondern daß die Lösungsmöglichkeit derselben je nach dem Ausgangsmaterial zur Herstellung und der Zusammensetzung des Düngers schwankt, fand P. Wagner im Jahre 1895 in der sauren Ammonzitratlösung ein Lösungsmittel, welches nach der Übereinstimmung mit den Ergebnissen von Vegetationsversuchen als Wertmesser für die Wirkung der Phosphorsäure dienen konnte. Dieses Lösungsmittel wurde dann später im Jahre 1898 auf Vorschlag von P. Wagner durch die zweiprozentige Zitronensäure ersetzt, weil hierdurch der veränderten Zusammensetzung der Thomasschlacke besser Rechnung getragen wurde. Versuche, welche vor einigen Jahren von Gerlach, Tacke, Haselhoff, Schneidewind, Meyer ausgeführt wurden, bestätigten, daß auch für die heutige Zusammensetzung der Thomasmehle noch die Brauchbarkeit dieses Lösungsmittels als Wertmesser für die Wirkung der Thomasmehlphosphorsäure gegeben ist.

Wenn diese Lösungsmittel, insbesondere die zweiprozentige Zitronensäure, für andere Düngemittel, als hier angegeben sind, zur Bestimmung der wirksamen Phosphorsäure angewendet werden, so ist dieses unzu-

lässig, sofern nicht durch Vegetationsversuche nachgewiesen ist, daß diese Lösungsmittel auch in den betreffenden Düngemitteln die Phosphorsäure in der Menge lösen, welche in dem Vegetationsversuch sich als wirksam erwiesen hat.

d) Gewinnung phosphorsäurehaltiger Düngemittel

Die in den Wirtschaftsabfällen, z. B. in Stallmist oder Kompost vorhandene Menge an Phosphorsäure und die durch besondere Wirtschaftsmaßnahmen wie Gründüngung gewonnene Phosphorsäure reichen im allgemeinen nicht aus, um den Bedarf der Pflanzen an Phosphorsäure zu decken. Wir sind genötigt, uns noch andere Phosphorsäurequellen zu erschließen, welche uns in reichem Maße in den Rohphosphaten zur Verfügung stehen. Da Deutschland arm an solchen ausnutzbaren Phosphaten ist, diese vielmehr aus dem Auslande einführen muß, so besteht für Deutschland in der Versorgung mit phosphorsäurehaltigen Düngemitteln eine gewisse Abhängigkeit vom Auslande. Dieses gilt besonders beim Superphosphat, welches durch Aufschließen der Rohphosphate mit Schwefelsäure gewonnen wird. Diese Rohphosphate finden sich überall, auch in Deutschland an der Lahn und Dill, in Bayern, am Harz usw.; sie sind aber hier meist von einer Zusammensetzung, welche für die Verwendung zur Herstellung von Superphosphat wenig geeignet ist. Für diesen Zweck werden die Rohphosphate aus Nordamerika, von den westindischen Inseln, Südseeinseln, Nordafrika, Frankreich, Belgien usw. bezogen. Hierhin sind auch die Koprolithen, Osteolithen zu rechnen, ferner gewisse Guanosorten von Inseln des Stillen Ozeans, welche aus den Exkrementen von Möwen, Pelikanen, Kormoranen usw. entstanden sind. Der in diesen Guanosorten ursprünglich vorhandene Stickstoff geht durch Zersetzung der organischen Substanz, die infolge der großen Wärme bald eintritt, und durch Auswaschung verloren, sodaß in der Hauptsache phosphorsaurer Kalk zurückbleibt; solche Guanosorten sind Bakerguano, Maldenguano. In diesen Guanosorten ist nach den Angaben von L. Schucht die Phosphorsäure zwar im wesentlichen als Trikalziumphosphat, zum geringen Teil aber immer als Dikalziumphosphat vorhanden, z. B. im Bakerguano neben 61,6% Trikalziumphosphat noch 14,7% Dikalziumphosphat.

Die Herstellung des Superphosphates geht auf einen Vorschlag von J. v. Liebig zurück, welcher im Jahre 1840 empfohlen hat, das Knochenmehl, auf das schon A. Thaer als brauchbar für Düngezwecke hingewiesen hatte, durch Aufschließen mit Schwefelsäure wirksamer zu machen. Salzsäure und Salpetersäure sind für diesen Aufschluß ungeeignet. Der Aufschließungsprozeß mit Schwefelsäure verläuft nach L. Schucht in zwei Phasen nach folgenden Gleichungen:

$Ca_3P_2O_8 + 6H_2SO_4 + 12H_2O = 4H_3PO_4 + Ca_3P_2O_8 + 6CaSO_4 \cdot 2H_2O$
$4H_3PO_4 + Ca_3PO_8 + 3H_2O = 3(CaH_4P_2O_8 \cdot H_2O)$.

Wird Schwefelsäure im Überschuß zugesetzt, so wird Trikalziumphosphat vollständig zersetzt. Wenn die Säure für den Aufschluß nicht ausreicht, so setzt sich das zuerst entstandene Monokalziumphosphat mit dem noch vorhandenen, nicht zersetzten Trikalziumphosphat in Dikalziumphosphat um; die wasserlösliche Phosphorsäure des Monokalziumphosphates wandelt sich in wasserunlösliche Dikalziumphosphatphosphorsäure um. Man nennt diese Rückwandlung der wasserlöslich gewordenen Phosphorsäure in die wasserunlösliche Bindungsform das Zurückgehen der Phosphorsäure. Letzteres ist besonders dann zu befürchten, wenn das Rohphosphat Eisen- und Tonerdeverbindungen enthalten hat; bei mehr als 2% dieser Verbindungen muß bei längerer Lagerung des Superphosphates mit diesem Zurückgehen der wasserlöslichen Phosphorsäure gerechnet werden. Beim Vermischen des Superphosphats mit schwefelsaurem Ammoniak zur Herstellung von Ammoniaksuperphosphat ist ein Zurückgehen der Phosphorsäure nicht beobachtet worden; man glaubt sogar annehmen zu dürfen, daß die Phosphorsäure im Ammoniaksuperphosphat besser wirkt, als im reinen Superphosphat und führt dieses auf die Verhinderung des Zurückgehens der Phosphorsäure im ersteren Dünger zurück. Der sichere Beweis für diese Ansicht fehlt und ist auch wohl kaum zu erbringen; man wird dabei berücksichtigen müssen, daß der im Kulturboden vorhandene Kalk ausreichen wird, um etwa gebildete saure Salze zu neutralisieren.

Nach den Angaben von Schucht ist im Superphosphat immer ein gewisser Gehalt an freier Phosphorsäure zur Löslichhaltung der in den Rohphosphaten neben Trikalziumphosphat vorhandenen Bestandteile nötig. Von diesen Nebenbestandteilen der Rohphosphate sind einige deshalb besonders zu erwähnen, weil bei ihrer Zersetzung Gase entweichen, welche auf die Vegetation nachteilig wirken; ich nenne nur Chlor, Fluorwasserstoff. Dazu können aus der Schwefelsäurefabrikation schweflige Säure und Stickstoffsäuren kommen.

Über die Reaktion des Superphosphates ist bereits früher (S. 113) gesagt worden, daß dieser Dünger zwar an sich sauer reagiert, aber nicht zu den physiologisch-sauren Düngemitteln zählt.

Nach den Feststellungen von Graham wird in einem Rohphosphat durch Behandeln mit verdünnter Schwefelsäure das Kalkphosphat gelöst, dagegen Eisen- und Tonerdephosphat nur wenig angegriffen. Die Schwefelsäuremenge ist nach der Zusammensetzung des Rohphosphats zu bemessen. Die gelöste Phosphorsäure wird durch Filterpressen von dem Rückstand, dem sog. Phosphatgips getrennt und durch Eindampfen konzentriert. Der Phosphatgips ist als Düngemittel kaum brauchbar; er wurde früher als Einstreumittel für Stallmist empfohlen, allerdings

nicht mit großem Erfolge, da seine Wirkung auf die Stallmistkonservierung nur gering war, und wird heute hauptsächlich als Ballast bei der Superphosphatfabrikation verwendet. Er besteht in der Hauptsache aus Gips (etwa 60%); die vorhandene Phosphorsäure (bis 4%) ist nur zu einem sehr geringen Teil in Wasser löslich. Dem Phosphatgips steht in der Gewinnung der Superphosphatgips nahe; dieser enthält aber mehr wasserlösliche Phosphorsäure (6—10%).

Doppelsuperphosphat erhält man durch Aufschließen der Rohphosphate mit Phosphorsäure; der Aufschluß erfolgt nach den Gleichungen:

$$Ca_3P_2O_8 + 4H_3PO_4 + 3H_2O = 3(CaH_4P_2O_8 \cdot H_2O)$$
$$CaCO_3 + 2H_3P_2O_4 = CaH_4P_2O_8 + CO_2.$$

Das erhaltene Doppelsuperphosphat muß getrocknet werden; geschieht dieses bei mehr als 120°, so geht die Phosphorsäure zurück; es bildet sich Pyrophosphorsäure, was bei der Bestimmung der Phosphorsäure zu beachten ist, weil die Phosphorsäure in dieser Form nicht in der üblichen Weise ausgefällt wird, vielmehr vorher ein Invertieren mit Salpetersäure stattgefunden haben muß.

Von O. Reitmair wird Rohphosphat mit nur soviel verdünnter Schwefelsäure versetzt, daß die Karbonate hydratisiert werden. Hierdurch soll die Phosphorsäure in dem als Reformphosphat bezeichneten Erzeugnis für eine günstige Wirkung genügend aufgeschlossen werden. In ähnlicher Weise gewinnt F. Heller das Neutralphosphat; er läßt heiße Schwefelsäure auf Rohphosphat einwirken; er will dadurch kohlensauren Kalk und Fluorkalzium zersetzen und so die Zersetzung des Phosphates erleichtern. Je nach der Menge der verwendeten Schwefelsäure ist die Entstehung von Mono- oder Dikalziumphosphat nicht ausgeschlossen.

Es ist bereits auf die Umbildung der Phosphorsäure im Trikalziumphosphat in Dikalziumphosphat und die Rückbildung der Monokalziumphosphatsäure in diese Di-Bindungsform hingewiesen. Es wird aber auch das Dikalziumphosphat als solches für Düngezwecke hergestellt. Früher wurde es als Nebenerzeugnis der Knochenverarbeitung gewonnen, indem die fettfreien Knochen in Salzsäure oder in schwefliger Säure gelöst und in der Lösung die Phosphorsäure mit Kalkmilch ausgefällt wurde. Aus dieser Art der Herstellung erklärt sich die Bezeichnung des Dikalziumphosphates als Präzipitat. Dieser Aufschluß des Knochenphosphates verläuft nach folgender Gleichung:

$$Ca_3P_2O_8 + 4HCl = CaH_4P_2O_8 + 2CaCl_2$$
$$CaH_4P_2O_8 + CaO = 2CaHPO_4 + H_2O.$$

Durch einen Überschuß an Kalk wird die Phosphorsäure als Trikalziumphosphat gefällt, also wieder schwerlöslich. An Stelle von Kalkmilch ist zur Fällung der Phosphorsäure auch Knochenmehl und Thomas-

mehl verwendet worden, wobei im ersteren Falle sowohl das Monokalziumphosphat der Lösung wie das Trikalziumphosphat des Knochenmehles in Dikalziumphosphat umgesetzt wurden. Bei Zusatz von Thomasmehl wird ein Niederschlag erhalten, der zitratlösliche und zitronensäurelösliche Phosphorsäure enthält.

Außer Knochen werden auch Mineralphosphate zur Gewinnung von Dikalziumphosphat verwendet; die Art der Herstellung ist dieselbe. Man verwendete dazu besonders in der Zeit des Phosphorsäuremangels die niedrigprozentigen Rohphosphate mit hohem Gehalt an Eisen und Tonerde, welche sich für die Superphosphatherstellung wenig eigneten. Man hoffte in dem in dieser Weise gewonnenen Dikalziumphosphat einen guten Phosphorsäuredünger zu haben und nannte ihn Edelphosphat. Diese Bezeichnung war nicht gerechtfertigt und konnte zu Täuschungen führen. Das Verfahren hat sich kaum als wirtschaftlich erwiesen.

Aus dem Dikalziumphosphat erhält man durch Erhitzen mit wässeriger Chlormagnesiumlösung Magnesiumphosphat. Von der Angabe anderer Herstellungsverfahren kann hier zunächst abgesehen werden, da dieses Phosphat bisher keine größere Anwendung gefunden hat. Die Aufmerksamkeit wurde darauf durch die günstigen Erfolge, die M. v. Wrangell mit diesem Phosphate erzielte, gelenkt.

W. Palmaer erhält durch Elektrolyse eines Gemisches von Apatit mit Natriumchlorat bezw. Natriumperchlorat durch die Einwirkung der hierbei entstehenden freien Chlorsäure bezw. Überchlorsäure auf Apatit das nach ihm benannte Palmaerphosphat mit 36—38% Phosphorsäure von hohem Löslichkeitsgrad. Dieses Phosphat hat keine weite Verbreitung gefunden.

Das Thomasphosphatmehl war bisher neben Superphosphat der hauptsächlichste Phosphorsäuredünger. Es wird nach dem Verfahren von Gilchrist und Thomas zur Entphosphorung des Eisens durch Kalkzuschlag zum flüssigen Roheisen gewonnen; dabei erhält man phosphorfreies Eisen und die sogenannte Thomasschlacke, welche gemahlen wird und das Thomasphosphatmehl oder kurzweg Thomasmehl gibt. Die Zusammensetzung des Thomasmehles ist je nach dem Phosphorgehalt des Eisenerzes verschieden. Der Phosphorsäuregehalt der Schlacke ist in den zuletzt erkalteten Teilen der Mitte der Schlacke am höchsten, eine Beobachtung, die Scheibler zur Herstellung seines phosphorsäurereichen Thomasmehles ausnutzte. Nach den Untersuchungen Hilgenstocks müssen wir die Bindung der Phosphorsäure in dem Thomasmehl als Tetrakalziumphosphat annehmen. Die Auffassung von Bücking und Link, wonach außerdem noch Trikalziumphosphat vorhanden ist, dürfte aufgegeben sein. Für die Bindung als Tetrakalziumphosphat kann angeführt werden, daß das Thomasmehl durch die Einwirkung von Kohlensäure nach und nach zerfällt, indem die Kohlensäure das vierte Kalk-

molekül des Tetrakalziumphosphates bindet. Schucht gibt für die Einwirkung der Kieselsäure auf die schwerlöslichen Phosphate die folgenden Gleichungen an:

$$Ca_3P_2O_8 + Ca_2SiO_4 = Ca_4P_2O_9 + CaSiO_3$$
$$Fe_3P_2O_8 + 2\,Ca_2SiO_4 = Ca_4P_2O_9 + Fe_3Si_2O_7.$$

Die Wirkung der Phosphorsäure steht zu dem Kieselsäuregehalt des Thomasmehles in einem gewissen Zusammenhang; man kann durch Zusatz von Sand zur flüssigen Schlackenmasse die Löslichkeit der Thomasmehlphosphorsäure in Zitronensäure erhöhen. Auch beim Vermischen von Thomasmehl mit Kalisalzen tritt nach Untersuchungen von Haselhoff eine Erhöhung der Löslichkeit der Thomasmehlphosphorsäure ein. Von besonderer Bedeutung für die Bewertung des Thomasphosphatmehles ist noch der darin vorhandene freie Kalk, der bei der Preisberechnung nicht berücksichtigt, also kostenfrei geliefert wird.

Martinschlacke, nach dem Martin-Verfahren, Talbotschlacke, nach dem Talbotverfahren gewonnen, stehen in Herstellung und Anwendung dem Thomasphosphatmehl nahe.

Eine besondere Gruppe von Phosphorsäuredüngern bilden die Glüh- oder Sinterphosphate, welche durch Zusammenschmelzen von Rohphosphat mit Silikaten, Kalisalzen usw. gewonnen werden. In gewisser Hinsicht gehört nach der Art der Gewinnung auch das Thomasmehl zu diesen Phosphaten. Nach diesem Verfahren werden hergestellt: Woltersphosphat aus Rohphosphat und Kalk, Sand, Kohle und saurem schwefelsaurem Natron mit 16—20% Phosphorsäure, Wiborghphosphat aus Rohphosphat und Salz mit etwa 27—30% Phosphorsäure, Germaniaphosphat aus Lahnphosphorit und Kalisalzen mit 8—9% Phosphorsäure, Schröndersphosphat aus Rohphosphat und Karnallit mit 5—6% Phosphorsäure. Zum Teil enthalten diese Glühphosphate nicht unerhebliche Mengen Kali. Sie haben trotz ihrer nicht ungünstigen Wirkung, welche derjenigen der Thomasmehlphosphorsäure zum Teil überlegen war, eine wirtschaftliche Bedeutung nicht erlangen können, weil sich die Herstellungskosten zu hoch stellten.

Zu diesen Glühphosphaten gehört auch das Rhenaniaphosphat, dessen Herstellung zunächst durch die wirtschaftlichen Verhältnisse während des Krieges begünstigt wurde, das aber auch in der Folgezeit, nachdem es durch die Verbesserung des Herstellungsverfahrens eine für die Wirkung günstigere Zusammensetzung erhalten hat, als Düngemittel verwendet wird. Rhenaniaphosphat wird durch Glühen von Rohphosphat mit einem Alkaliträger erhalten. Als Alkaliträger diente zuerst Phonolith. Später ist Phonolith durch Salz ersetzt worden und können auch Kalisalze dazu Verwendung finden; infolgedessen steigt durch den Fortfall der Ballaststoffe des Phonolithes der Phosphorsäuregehalt des fertigen

Rhenaniaphosphates. Das Gemisch von Rohphosphat und Alkaliträger wird gemahlen und entweder in diesem Zustande in Drehöfen oder, in Backsteinform gepreßt, in Schachtöfen auf 1250° erhitzt. Dabei setzt sich der dreibasische phosphorsaure Kalk durch Ersatz eines Kalk-Moleküls durch die entsprechende Menge Alkali in ein Alkalikalkphosphat von der Formel $(CaO)_2 \cdot \begin{matrix} K \\ Na \end{matrix}\!\!>\!O \cdot P_2O_5$ um. Diese Bindungsform der Phosphorsäure soll die Wirkung der Phosphorsäure im Rhenaniaphosphat bestimmen. Das geglühte Material wird in Kugel- und Rohrmühlen auf Zementfeinheit vermahlen. Wenn Kalisalze als Alkaliträger Verwendung finden, kann der Kaligehalt der Fertigware bis 18% betragen. Die Art der Rohphosphate hat für die Herstellung des Rhenaniaphosphates nicht die Bedeutung, wie dieses bei der Superphosphatfabrikation der Fall ist.

Die Bestrebungen, den Wirkungswert der Phosphorsäure im Rhenaniaphosphat nach der Löslichkeit in Petermannscher Ammonzitratlösung zu bemessen, sind bis heute noch nicht zum Abschluß gekommen, obgleich der Verkauf des Rhenaniaphosphates bereits nach dieser Löslichkeit erfolgt.

Zu den Glühphosphaten ist auch das in Italien hergestellte Tetraphosphat zu zählen, welches beim Erhitzen von Rohphosphat mit 6% einer Mischung aus Natriumkarbonat, Magnesiumkarbonat und Natriumsulfat auf 600° erhalten wird.

Die Firma de Haen hat einen anderen Weg eingeschlagen, um die Phosphorsäure der Rohphosphate für die Pflanzen aufnehmbar zu machen; sie vermischt Rohphosphat mit Braunkohle oder Torf und vermahlt dieses Gemisch naß. Das Erzeugnis, anfänglich Kolloidphosphat, jetzt Dehaenphosphat genannt, zeigt eine beachtenswerte Phosphorsäurewirkung, hat aber bis heute noch keine Anwendung im praktischen Betriebe gefunden. Dem gleichfalls durch nasse Vermahlung von Rohphosphat in einer Kolloidmühle erhaltenen Kolloidphosphat Plauson kommt eine nennenswerte Düngewirkung nicht zu. Letzteres gilt auch von dem Reibephosphat, bei dessen Herstellung Rohphosphate mit Kalirohsalzen trocken vermahlen oder verrieben werden.

Es ist schon wiederholt auf die Schwerlöslichkeit und infolgedessen geringe Wirkung der Phosphorsäure des Trikalziumphosphates, wie sie im Rohphosphat vorkommt, hingewiesen worden. Wir sprechen im allgemeinen dieser Phosphorsäureform eine Düngewirkung ab, weil wir bei dieser Beurteilung vom Mineralboden ausgehen; wir müssen aber zur gerechten Würdigung der Phosphorsäurewirkung des Trikalziumphosphates Unterschiede machen. Auf diese unterschiedliche Wirkung der verschiedenen Rohphosphate hat M. v. Wrangell neuerdings besonders hingewiesen; sie stellte in ihren Versuchen die Unwirksamkeit der Phosphorsäure in den kristallinen Fluorapatiten fest, während die

Phosphorsäure des Obolensandsteins günstig wirkte. Mitscherlich hat festgestellt, daß die Phosphorsäure im frisch gefällten Trikalziumphosphat günstig wirkt. Gleiches findet Prianischnikow für das frisch gefällte Aluminiumphosphat. Daraus folgert Th. Pfeiffer, daß die Ausnutzbarkeit der Phosphorsäure des Trikalziumphosphates weniger durch die Bindungsform, sondern weit mehr durch die physikalische Beschaffenheit des Stoffes bedingt ist. Dadurch würde sich auch die verschiedene Wirkung der Phosphorsäure in den felsigen und weicherdigen Rohphosphaten wie Algier-, Gafsa- und ähnlichen Phosphaten erklären lassen. Während die Phosphorsäure der felsigen Phosphate auf allen Böden versagt, hat die Phosphorsäure in den erdigen Phosphaten nach den Versuchen von Br. Tacke auf sauren Moorböden eine solche Wirkung gezeigt, daß hier das Thomasmehl durch die weicherdigen Phosphate vollständig ersetzt werden kann; für Mineralböden gilt dieses nicht. Auch sollen weicherdige Phosphate durch Bakterien, welche zweifellos bei der Lösung der Phosphorsäure im Boden mitwirken, leichter angegriffen werden. Prianischnikow zieht aus seinen Untersuchungen über die aufschließende Wirkung von Moostorf auf Phosphorit auch den Schluß, daß hierbei die Phosphorsäure so löslich wird, daß sie der Pflanzenernährung dienen kann, und erklärt dieses in folgender Weise: „Da der Wasserstoff der Karboxylgruppen schwer löslicher Säuren von der Art der Stearinsäuren durch Kationen, welche mit diesen Säuren schwer lösliche Salze bilden, ersetzt werden kann, wobei das Phänomen der Neutralsalzzersetzung realisiert wird, so kann man annehmen, daß die Neutralsalzzersetzung durch die Huminsäuren auch von den Karboxylgruppen abhängig ist. Es gibt Bedingungen, unter welchen sogar die Kalksalze (Gips) die Energie der Zersetzung des Phosphorits durch Torf erhöhen können; dazu muß die Quantität vom Kalk derart bemessen werden, daß die Kapazität des Torfes, die Kalk-Ionen aus der Lösung zu entfernen, nicht überschritten wird. Bei einem weiten Verhältnis von Hochmoortorf zu Phosphorit (100 : 1) ist eine vollständige Überführung der Phosphorsäure des Phosphorits in Lösung erreichbar; die Einführung der Neutralsalze der starken Säuren erlaubt die relative Menge des Torfes bis zu einem gewissen Grade herabzusetzen; zur genaueren Feststellung dieser Verhältnisse für einzelne Torfarten, für bestimmte Salze und sogar für bestimmte wirtschaftliche Lokalverhältnisse müssen die Angaben der speziellen Versuche herangezogen werden.“ In dieser Hinsicht bieten uns die zahlreichen und vielseitigen Versuche der Moorversuchsstation in Bremen vom Beginn ihrer Tätigkeit unter M. Fleischer und nachher bis heute unter Br. Tacke sichere Unterlagen für unser Urteil. Wir können jedenfalls daran festhalten, daß die Rohphosphate auf sauren Böden mit gutem Erfolge anzuwenden sind, daß sie aber auf Mineralböden keine geeignete Phosphorsäurequelle für unsere Kulturpflanzen bieten.

In Knochenkohle und Knochenasche ist die Phosphorsäure als Trikalziumphosphat enthalten. Die Knochenkohle wurde als Abfallprodukt der Zuckerindustrie erhalten und fand in den Superphosphatfabriken Verwendung als Rohmaterial. Heute ist ihre Menge so gering, daß sie auch hierfür keine Bedeutung mehr hat. Knochenasche wurde hauptsächlich in Südamerika gewonnen, wo die Knochen und sonstigen Abfälle der geschlachteten Tiere getrocknet und als Heizmaterial verwendet wurden. Sie hat für uns keine Bedeutung als Düngemittel.

e) Zusammensetzung und Anwendung der Phosphorsäuredünger

Als Voraussetzung für die gute Wirkung der Phosphorsäure gilt, daß der Phosphorsäuredünger mit dem Boden gut vermischt wird. Deshalb muß als Regel für die Anwendung dieses Düngers gelten, daß der Dünger in den Boden gebracht, d. h. vor der Aussaat untergebracht wird. Wenn Phosphorsäuredünger in besonderen Fällen als Kopfdünger gegeben wird, so muß mit einer nicht vollständigen Ausnutzung der Phosphorsäure gerechnet werden; der Ausfall wird je nach der Art des Phosphorsäuredüngers verschieden groß sein. Bei der Anwendung der Phosphorsäure ist zu beachten, daß die Phosphorsäure im Boden schwer beweglich ist, sodaß sie in erheblich größerer Menge zu geben ist, als die Pflanzen sie zur Ernährung nötig haben.

An erster Stelle steht sowohl in der Löslichkeit, als auch in der Wirkung der Phosphorsäure das Superphosphat. Die Phosphorsäure ist in wasserlöslicher Form vorhanden; der Gehalt daran schwankt; man kann ihn im allgemeinen mit 14—18 % wasserlöslicher Phosphorsäure annehmen. Es wurde früher vielfach die Ansicht vertreten, daß Superphosphat der Phosphorsäuredünger der schwereren und besseren Böden sei. Dieses trifft in dieser Allgemeinheit wohl nicht zu. Diese Ansicht ist wesentlich durch die Annahme beeinflußt worden, daß man in diesen Böden mit einer stärkeren Absorption der löslichen Phosphorsäure rechnete, als in den leichteren, sandigen Böden, sodaß die Gefahr eines Versickerns der löslichen Phosphorsäure geringer war. Es ist bereits früher (S. 154) ausgeführt, daß es sich hierbei um die Überführung des Mono-Phosphates in das wasserunlösliche Di-Phosphat handelt und dabei eine ausgedehnte Verteilung der Phosphorsäure im Boden stattfindet, welche eine gute und bessere Wirkung darstellt, als bei der Anwendung des Dikalziumphosphates, welches hier in erster Linie in Frage steht, in fester Form. Wesentlich für die Wirkung der Phosphorsäure ist, daß die Bindung im Boden durch Kalk erfolgt. Wenn es im Boden an Kalk fehlt, er dafür aber mehr Eisen enthält, so wird die Phosphorsäure aus diesem schwer löslichen Eisenphosphat nur in geringer Menge aufgenommen. Durch diese Absorption der Superphosphatphosphorsäure im Boden ist auch die Nachwirkung der wasser-

löslichen Phosphorsäure gesichert. Versuche von W. Schneidewind und D. Meyer auf Lößlehmboden zeigen, daß eine einmalige Vorratsdüngung mit Superphosphatphosphorsäure einen ebensolchen Mehrertrag und eine gleich gute Ausnutzung der Phosphorsäure gebracht hat, wie die auf vier Jahre verteilte Düngung mit Superphosphat.

In jedem Falle ist Superphosphat als Phosphorsäuredünger da vorzuziehen, wo es sich um eine schnelle Wirkung der Phosphorsäure handelt, also bei Pflanzen mit kurzer Vegetationszeit, bei ungünstigen klimatischen Verhältnissen, die eine kräftige Entwicklung der Pflanzen fordern u. s. f.

Vergleichende Versuche mit Dikalziumphosphat haben unzweifelhaft ergeben, daß die Phosphorsäure in dieser Bindungsform der Superphosphatphosphorsäure in der Wirkung nachsteht. Dabei ist aber zu beachten, daß diese Wirkung durch die Beschaffenheit des Bodens sehr beeinflußt wird und es vorkommen kann, daß auf stark humosem und saurem Boden die Phosphorsäure im Dikalziumphosphat ebenso gut oder sogar noch besser wirkt, als die Superphosphatphosphorsäure. Schneidewind hat ein gleiches auch auf einem trockenen, kalkarmen Sandboden festgestellt. Beger, Remy, Haselhoff haben in Übereinstimmung mit früheren Versuchen festgestellt, daß der Wirkungswert der Phosphorsäure im Dikalziumphosphat niedriger liegt als derjenige der Phosphorsäure im Superphosphat; man wird ihn auf etwa 80—90% desjenigen der Superphosphatphosphorsäure schätzen können. Dikalziumphosphat als solches hat keine große Bedeutung als Phosphorsäuredünger. Der Gehalt an Phosphorsäure ist 36—39%.

Thomasphosphatmehl galt ursprünglich als der Dünger der leichten Sandböden und der Moorböden. Wir wissen heute, daß diese Beschränkung der Anwendung des Thomasmehles auf bestimmte Bodenarten nicht richtig ist. Zwar wirkt das Thomasmehl auf saurem Moorboden besonders gut und ist hier dem Superphosphat überlegen, aber im übrigen kann Thomasmehl ebenso gut auf Lehmboden wie auf Sandboden verwendet werden und eine günstige Wirkung zeigen. Die heutige Beschaffenheit des Thomasphosphatmehles sichert eine baldige Wirkung seiner Phosphorsäure. Wenn es auch vorteilhaft erscheinen kann, Thomasmehl sehr zeitig vor der Aussaat in den Boden zu bringen, so darf doch auch mit einer guten Wirkung seiner Phosphorsäure gerechnet werden, wenn dieser Dünger kurz vor der Aussaat in den Boden kommt. Das ist besonders bei Winterfrüchten der Fall, für welche sich das Thomasmehl besonders wegen der langen Vegetationszeit der Pflanzen gut eignet. Die frühzeitige Anwendung des Thomasmehles ist besonders auf Wiesen und Weiden am Platze; je zeitiger sie erfolgt, desto günstiger ist die Wirkung; selbst bei Herbstanwendung sind Verluste an Phosphorsäure nicht zu befürchten. Gleiches gilt für die Anwendung des

Thomasmehles auf allen sonstigen Grünländereien. Für die Auswahl der Phosphorsäuredünger ist die Beschaffenheit des Bodens meistens entscheidender als die Pflanze, und es erübrigt sich deshalb nach dem Vorhergesagten, auf die Anwendung des Thomasmehles für einzelne Pflanzen einzugehen.

Im Vergleich mit Superphosphat steht die Wirkung der Phosphorsäure im Thomasmehl zurück; sie macht im Durchschnitt etwa 80 bis 90% der Wirkung der Superphosphatphosphorsäure aus, wobei aber darauf hingewiesen wird, daß auch eine höhere oder geringere Wirkung in besonderen Fällen nicht ausgeschlossen ist. Wenn vielfach angenommen wird, daß die Thomasmehlphosphorsäure eine bessere Nachwirkung zeigt, als die Superphosphatphosphorsäure, so trifft dieses auch nicht überall zu; ich habe vorhin schon auf die günstige Nachwirkung der letzteren in dem Versuch von Schneidewind und Meyer hingewiesen; hierbei wurde auch Thomasmehl geprüft und war hier die Nachwirkung dieselbe wie beim Superphosphat.

Thomasphosphatmehl enthält durchschnittlich 15—19% Gesamtphosphorsäure; davon sind 13—18% in zweiprozentiger Zitronensäure löslich. Diese Durchschnittsgehalte werden nach oben und unten überschritten. Oft gehen auch Abfallschlacken mit sehr geringem Phosphorsäuregehalt unter dem Namen Thomasmehl, haben aber in der Herstellung nichts damit zu tun. Besonders wertvoll ist der hohe Kalkgehalt des Thomasmehles mit 40—50%.

Die Phosphorsäure in Martinschlacke, Talbotschlacke, Wiborgschlacke wirkt ähnlich wie die Thomasmehlphosphorsäure.

Die Bewertung der Phosphorsäure im Rhenaniaphosphat ist heute noch umstritten. Ich glaube allerdings, daß manche Abweichungen in den Versuchsergebnissen darauf zurückzuführen sind, daß Rhenaniaphosphate verschiedener Herstellung und Zusammensetzung zu den Versuchen benutzt wurden. Die nachfolgenden Angaben über die Zusammensetzung des Rhenaniaphosphates sprechen dafür; es wurde folgender Durchschnittsgehalt festgestellt:

Jahr	Phosphorsäure			Basischer Kalk	Feinmehl
	Gesamt %	zitronensäurelöslich %	zitratlöslich %	%	%
1913	7,96	6,62	4,89	19,7	70,0
1918	12,31	8,73	6,81	41,1	92,8
1921	18,63	18,44	18,32	37,5	93,4
1923	27,00	26,00	25,50	37,5	99,9

Es ist deshalb für den Vergleich der verschiedenen Versuchsergebnisse wegen der Änderung der Fabrikation in den letzten Jahren

notwendig, daß die Zeit, in der die Versuche durchgeführt wurden, berücksichtigt wird. Im allgemeinen steht die Phosphorsäure im Rhenaniaphosphat derjenigen des Thomasmehles in der Wirkung näher als derjenigen im Superphosphat, ist aber ersterer vielleicht etwas überlegen. Das Rhenaniaphosphat ist insofern dem Thomasmehl in der Zusammensetzung ähnlich, als es ebenfalls durch einen hohen Kalkgehalt (40 bis 45%) ausgezeichnet ist. Die Wirkung der Phosphorsäure im Rhenaniaphosphat scheint von den Boden- und klimatischen Verhältnissen besonders stark beeinflußt zu werden; allerdings scheint hierbei die Reaktion des Bodens nach den Versuchen von Haselhoff nicht die ausschlaggebende Rolle zu spielen, welche man nach den Versuchen von Tacke und Remy annehmen könnte, abgesehen davon, wenn es sich um ausgesprochen saure humose Böden handelt. Auf diesen Böden wird, wie Tacke festgestellt hat, in der Phosphorsäurewirkung von Rhenaniaphosphat und Thomasmehl kein wesentlicher Unterschied sein. Auf Mineralboden sind keine gleichlautenden Ergebnisse erzielt worden. Während Tacke eine geringere Wirkung der Phosphorsäure im Rhenaniaphosphat gegenüber dem Thomasmehl feststellte, erzielte Remy bessere Ergebnisse und Niklas sogar Erträge, welche auf eine Gleichstellung der Rhenaniaphosphatphosphorsäure mit der Phosphorsäure im Superphosphat hindeuten. Letzteres geht zu weit. Haselhoff findet bei früheren Versuchen, bei denen ein Rhenaniaphosphat mit 11,77% Phosphorsäure verwendet wurde, daß die Phosphorsäure in Rhenaniaphosphat und Thomasmehl ungefähr gleich wirkt; bei späteren Versuchen mit einem Rhenaniaphosphat, welches 30,22% Phosphorsäure enthielt, war die Wirkung auf Wiesen etwas günstiger, auf Ackerboden etwas ungünstiger gegenüber Thomasmehl. Man verfährt für praktische Verhältnisse wohl am besten, wenn man die Düngewirkung der Phosphorsäure in diesen beiden Phosphatdüngern als nicht wesentlich verschieden annimmt.

Die Art der Anwendung des Rhenaniaphosphates ist dieselbe wie beim Thomasmehl.

Über die Anwendung und Zusammensetzung anderer Phosphorsäuredünger, deren Herstellung vorher erwähnt worden ist, wurden früher schon kurze Angaben gemacht; es erübrigt sich, hierauf noch näher einzugehen, da ihre Nutzung als Düngemittel zurücktritt.

5. Kalihaltige Düngemittel

Die Bedeutung des Kalis für die Bildung der Pflanzensubstanz ist bereits früher (Bd. I, S. 121) erörtert worden. Darnach ist die Unentbehrlichkeit des Kalis für den Aufbau der Pflanze zweifellos, wenn auch über die Funktionen des Kalis bei der Ernährung der Pflanzen zum

Teil noch Unklarheiten vorhanden sind. Wir dürfen wohl als sichergestellt festhalten, daß das Kali für die Bildung der Kohlenhydrate von Bedeutung ist und bei der Wanderung der Stoffe in der Pflanze mitwirkt.

a) Das Kalibedürfnis unserer Böden und die Wirkung der Kalisalze auf den Boden

Die Quelle, aus der die Pflanzen ihren Kalibedarf decken, ist ursprünglich der Boden. Je nachdem diese Quelle den Pflanzen das Kali in größerer oder geringerer Menge darbietet, wird das Bedürfnis der Böden für eine besondere Kalizufuhr zur Erzeugung von Pflanzenmasse verschieden sein. Mitbestimmend ist dabei auch in ganz erheblichem Grade das Kalibedürfnis der betreffenden Pflanzen und die Fähigkeit dieser Pflanze in der Aneignung des Bodenkalis; darauf wird später noch einzugehen sein. Hier handelt es sich zunächst um das im Boden für die Pflanze in aufnehmbarer Form vorhandene Kali. Die Menge dieses Kalis ist in den Böden selbst gleicher Art oft sehr verschieden, und spielen dabei Fruchtfolge, Bodenbearbeitung und andere Wirtschaftsmaßnahmen eine besondere Rolle. Dieses wird oft zu wenig beachtet und darum der für die Pflanzen ausnutzbare Kalivorrat des Bodens oft über-, aber auch unterschätzt, besonders wenn man bei der Beurteilung von der in stärkeren Säuren löslichen Kalimenge ausgeht. Dieses konnten wir auf einem Boden, der in kurzen Zwischenräumen Zuckerrüben getragen hatte, nachweisen. Das Beispiel zeigte zugleich den starken Einfluß der Fruchtfolge auf die Menge des löslichen Bodenkalis. Der Boden enthielt 0,30% in 10%iger Salzsäure lösliches Kali, also eine Menge, die man ohne Berücksichtigung der angebauten Pflanze als erheblich ansprechen mußte. Durch den wiederholten Anbau der stark kalibedürftigen Zuckerrübe war aber das für die Pflanzen aufnehmbare Bodenkali ausgenutzt und das vorhandene schwerlösliche Kali für die nachstehende Pflanze noch nicht genügend gelöst, sodaß sich trotz des angegebenen hohen Gehaltes des Bodens an salzsäurelöslichem Kali ein starkes Kalibedürfnis des Bodens bemerkbar machte.

Auf die Verfahren, welche uns über das Kalibedürfnis der Böden Aufschluß geben sollen, ist bereits früher (S. 9 u. flgde.) eingegangen. Wir dürfen allgemein feststellen, daß die Löslichkeit des Bodenkalis in 10% Salzsäure uns keinen Anhalt für die Menge des von den Pflanzen aufnehmbaren Kalis gibt; wenn auch das Silikatkali in geringer Menge von den Pflanzen aufgenommen werden kann, so sagen uns doch Versuche verschiedener Art, daß diese Mengen mit den durch Säure gelösten Mengen nicht im Einklang stehen. Es mögen hier nur wenige Zahlen aus den Versuchen angeführt werden, welche E. Haselhoff im unverwitterten Gestein ausgeführt hat, weil diese Zahlen zugleich den Unterschied in der Kaliaufnahme zwischen Gramineen und Leguminosen zeigen.

	Buntsandstein	Basalt	Muschelkalk	Grauwacke
1. In 10% Salzsäure lösliches Kali:	0,25%	3,600%	0,19%	3,75%
2. Von den Pflanzen aufgenommenes Kali in Prozenten des salzsäurelöslichen Kalis:				
a) Pferdebohne . . .	6,4%	0,6%	0,1%	1,6%
b) Erbse	8,1 „	1,3 „	1,5 „	1,8 „
c) Lupine	13,4 „	0,5 „	0,2 „	1,1 „
d) Sommergerste . . .	0,6 „	0,1 „	—	0,2 „
e) Sommerweizen . . .	1,1 „	0,1 „	0,4 „	0,3 „

Die Zahlen lassen keine Regelmäßigkeit in den Beziehungen der Löslichkeit des Kalis in Salzsäure und der von den Pflanzen aufgenommenen Kalimenge erkennen, weder bei denselben Pflanzen in den verschiedenen Gesteinen, noch bei den verschiedenen Pflanzen in demselben Gestein. Bemerkenswert ist der Unterschied, den diese Zahlen in der Kaliaufnahme der Gramineen und Leguminosen zeigen; wenn auch die einzelnen Pflanzen in beiden Gruppen kein gleiches Aufnahmevermögen für Kali haben, so tritt der große Unterschied hierin bei diesen beiden Pflanzengruppen doch besonders deutlich hervor und zeigt sich die starke Überlegenheit der Leguminosen in der Ausnutzung des Bodenkalis gegenüber den Gramineen. Wenn Prianischnikow glaubt, daß die in Salzsäure löslichen Kalimengen einen Anhalt für das Kalibedürfnis des Bodens geben, weil dadurch das Kali der zeolithartigen Verbindungen vorwiegend extrahiert wird, so wird man dieser Annahme doch nur mit großer Einschränkung zustimmen können und ihre Zulässigkeit von der Wahl der im Einzelfalle richtigen Säurekonzentration abhängig machen müssen. Darauf deuten auch die Verfahren von J. König und O. Lemmermann hin, deren allgemeine Gültigkeit noch durch weitere Versuche zu prüfen ist.

Besondere Beachtung verdient eine Beobachtung M. Märckers, wonach das für die Pflanzen aufnehmbare Kali im wesentlichen in den abschlämmbaren tonigen Bestandteilen des Bodens enthalten ist. Wenn wir berücksichtigen, daß in diesen abschlämmbaren Bestandteilen die zeolithartigen Verbindungen enthalten sind, welche auf das Kali absorbierend wirken, daß sich das bessere Absorptionsvermögen der Ton- und Lehmböden gegenüber dem Sandboden aus dem Gehalt an zeolithartigen Verbindungen erklärt und dementsprechend der Kaligehalt der Sandböden geringer ist, so kann man in dieser Feststellung Märckers ein Anzeichen für die Erkennung der mehr oder weniger großen Kalibedürftigkeit der Böden sehen. Die nachfolgenden von Schneidewind angegebenen Zahlen zeigen, daß Beziehungen zwischen dem Gehalt an abschlämmbaren Bestandteilen und an Kali bestehen; einen weiteren Schluß möchte ich aus diesen Zahlen aber nicht ziehen; es wurden gefunden:

Bodenart	Abschlämmbare Bestandteile %	Kali %
Sandboden	4,9	0,046
Lehmiger Sandboden . .	12,9	0,164
Sandiger Lehmboden . .	19,1	0,259
Lehmboden	24,8	0,380
Tonboden	41,5	0,545

Diese Zahlen zeigen, daß der Kaligehalt im Boden mit dem Gehalt an abschlämmbaren Bestandteilen steigt, daß die an letzteren Bestandteilen ärmeren, leichteren Böden weniger Kali enthalten als die schwereren Böden. Diese Feststellung darf aber, wie die früheren Ausführungen bereits dartun, nicht zu dem Schlusse führen, daß die an abschlämmbaren Bestandteilen reicheren, schwereren Böden nicht kalibedürftig sind, vielmehr gilt auch hier, daß für die Ausnutzung des Bodenkalis immer nur der Gehalt an löslichem Bodenkali entscheidend ist.

Die Bedeutung der zeolithartigen Bestandteile für die Kaliabsorption der Böden wird allgemein anerkannt. Da wir in den besseren, ton- und lehmhaltigeren Böden mit einem höheren Gehalt an diesen Verbindungen rechnen dürfen, so folgt daraus auch, daß in diesen Böden infolge der stärkeren Absorption ein geringerer Kaliverlust eintreten wird als in leichteren Böden. Dieses zeigen uns deutlich die schon früher (S. 148) erwähnten Berieselungsversuche von J. König und E. Haselhoff, deren Ergebnisse die größeren Verluste an Kali im Drainwasser des Sandbodens gegenüber dem Kalk- und Lehmboden erkennen lassen. Auch M. Gerlach kommt zu ähnlichen Schlußfolgerungen; er findet bei frühzeitiger Anwendung von Kalisalzen, wodurch ein Auswaschen von Kali möglich wird, daß auf kalireicherem Lehmboden je ha und Jahr ein Verlust von 7 kg Kali entsteht, in kaliärmerem Sandboden aber 51 kg Kali verloren gehen. Wir müssen darnach mit einer Vorratsdüngung an Kali in leichterem Sandboden vorsichtig sein.

Wenngleich diese Umsetzungen der Kaliverbindungen im Boden auch in der Hauptsache in der „Bodenkunde“ klar zu legen sind und hier auch die eingehende Darlegung der Ursache der Einwirkung besonders der Nebensalze der Kalirohsalze auf den Boden, wie sie von Ehrenberg, Nolte, Hager u. a. m. geprüft worden ist, erfolgen wird, so soll hier doch kurz darauf eingegangen werden, da sie für die Erklärung der Wirkung der Kalisalze wichtig sind. Es handelt sich dabei im wesentlichen um die Einwirkung der Chloride und Sulfate der Alkalien und alkalischen Erden auf Bodenbestandteile und um die Änderungen der physikalischen Beschaffenheit des Bodens, welche für die Fruchtbarkeit des Bodens ungünstig sind. Die chemischen Umsetzungen der haupt-

sächlichsten Bodenbestandteile mit den Kalisalzen gibt O. Nolte durch nachfolgende umkehrbare Gleichung wieder:

$$\mathrm{Ca}\begin{Bmatrix}\text{Karbonat}\\ \text{Tonerdesilikat}\\ \text{Phosphat}\\ \text{Humat}\end{Bmatrix} + \begin{matrix}\mathrm{K}\\ \mathrm{Na}\\ \mathrm{Mg}\end{matrix}\Bigg\{\begin{matrix}\text{Sulfat}\\ \text{Chlorid}\end{matrix} \rightleftarrows \mathrm{Ca}\begin{Bmatrix}\text{Sulfat}\\ \text{Chlorid}\end{Bmatrix} + \begin{matrix}\mathrm{K}\\ \mathrm{Na}\\ \mathrm{Mg}\end{matrix}\Bigg\{\begin{matrix}\text{Karbonat}\\ \text{Tonerdesilikat}\\ \text{Phosphat}\\ \text{Humat}\end{matrix}$$

Diese Gleichung läßt die eintretenden Umsetzungen zwischen den Bodenbestandteilen und den Kalisalzen deutlich erkennen, die also neben Kalziumsulfat und -chlorid in der Hauptsache zu Verbindungen von Kalium, Natrium und Magnesium mit den mit Kalk verbundenen Säureresten führen. Diese Umsetzungen werden weiter durch das Wasser im Boden beeinflußt. Wenn es sich um kalihaltige, zeolithartige Verbindungen handelt, so kann durch Austausch mit Natrium, Kalzium und Magnesium das Kalium frei werden. Diese Umsetzungen im Boden, die zu Nährstoffauswaschungen und Veränderungen der kolloidalen Beschaffenheit des Bodens führen, können auf die Krümelstruktur des Bodens und auf die Wasserverhältnisse im Boden ungünstig einwirken und dadurch für die Fruchtbarkeit des Bodens von großer Bedeutung sein; sie sind deshalb bei der Auswahl der Kalisalze, die zur Deckung des Kalibedarfs des Bodens Verwendung finden sollen, sehr zu beachten. Am meisten wird dabei die Entkalkung des Bodens gefürchtet, und ergibt sich daraus der Grund dafür, daß der dauernde Erfolg der Anwendung chloridhaltiger Kalisalze eine regelmäßige Kalkdüngung zur Voraussetzung hat. Märcker hat berechnet, daß durch 100 kg Kalisalz dem Boden rund 100 kg Kalk entzogen werden. Tacke kommt auf Grund seiner Untersuchungen von Sickerwässern auf gekalktem Hochmoorboden, die jahrzehntelang durchgeführt wurden, allerdings zu der Ansicht, daß man die entkalkende Wirkung der Kalidüngemittel vielfach überschätzt hat und dieser Verlust an Kalk durch den Kalk der Phosphorsäuredünger reichlich aufgehoben wird.

Die Einwirkung der Kalisalze auf die Reaktion des Bodens ist bereits früher (S. 112) besprochen worden; sie wird sich solange nicht in nachteiliger Weise äußern, als kohlensaurer Kalk im Boden vorhanden ist.

Dieses gilt auch, soweit es sich um die Beeinflussung der biologischen Beschaffenheit des Bodens durch Kalisalze handelt. Es ist bekannt, daß durch die Kalisalze die Zersetzung der organischen Stoffe durch Mikroorganismen gehemmt wird; darauf beruhte auch die Anwendung des Kainits als Konservierungsmittel für Stallmist. Bei der Bedeutung dieser Arbeit der Mikroorganismen für die Bodenbeschaffenheit ist ohne weiteres klar, daß übermäßige Kalisalzmengen für die Bodenbeschaffenheit und damit für die Fruchtbarkeit des Bodens nachteilig

wirken können, wenn nicht ausreichende Mengen Kalk zur Aufhebung der nachteiligen Wirkungen vorhanden sind. Kali und Kalk stehen in enger Wechselwirkung zueinander; dieses äußert sich in dem Einfluß auf das Wachstum, die Entwicklung und die Zusammensetzung der Pflanzen.

Man ist oft geneigt, den Nebensalzen der Kalirohsalze, darunter besonders dem Chlormagnesium, eine wassersparende Wirkung im Boden zuzuschreiben und darauf die günstige Wirkung dieser Kalisalze bei anhaltender Trockenheit zurückzuführen. Dieses trifft nicht allgemein zu. Haselhoff zeigte durch Versuche, bei denen der Wasserverbrauch genau festgestellt worden ist, daß dieser in dem gedüngten Boden geringer ist, als in dem ungedüngten Boden, ohne daß dabei ein wesentlicher Unterschied in der Wirkung der verschiedenen Kalisalze auf den Wasserbedarf hervortrat. Es erscheint wahrscheinlich, daß, da die durch die Düngung bewirkte bessere Entwicklung der Pflanzen auch ein ausgedehnteres Wurzelnetz erwarten läßt, die gedüngten Pflanzen sich das Wasser des Bodens besser zu Nutzen machen können, während den nicht ausreichend gedüngten Pflanzen mit nicht so gut entwickelten Wurzeln ein geringerer Bodenraum zur Ausnutzung des Bodenwassers zur Verfügung steht, ihr Wasserbedürfnis also größer erscheint. Wir wissen aus den Untersuchungen von Thiel, Hellriegel u. a. m., wie sehr die Pflanzen sich durch gut entwickelte Wurzeln den Nährstoffvorrat und dabei auch das Wasser aus den Bodenschichten holen können, daß selbst die Kartoffel, die wir als Flachwurzler anzusprechen gewohnt sind, ihren Wasserbedarf aus tieferen Bodenschichten decken kann. Deshalb ist es durchaus nicht abwegig, den bei reichlicher Anwendung von Kalisalzen beobachteten geringeren Wasserbedarf mit der besseren Wurzelentwicklung der Pflanzen bei ausreichender Ernährung in Zusammenhang zu bringen. Jedenfalls ist diese Erklärung näherliegend, als hierfür einseitig gewisse Düngesalze in Anspruch zu nehmen, welche doch nur in relativ geringer Menge im Boden verteilt sein können.

b) Das Kalibedürfnis der Pflanzen

Wie für alle Nährstoffe, so gilt auch für das Kali, daß das Aufnahmevermögen und das besondere Bedürfnis der Pflanzen für diesen Nährstoff die für das Gedeihen der Pflanzen notwendige Nährstoffmenge bestimmt. Das Aufnahmevermögen der Pflanzen für Kali ist sehr verschieden, und dementsprechend ändert sich auch der Kalibedarf der Pflanzen. Wenn diesem Kalibedarf nicht voll Genüge geleistet wird, so äußert sich dieses weniger im Beginn des Pflanzenwachstums, sondern mehr später, indem die dann zur Ausbildung kommenden Organe, also in der Hauptsache die Samen, Wurzeln und Knollen, nicht mehr genügend Kali vorfinden. Daraus erklärt sich die günstige Wirkung des

Kalis auf die volle Ausbildung der Körner und die dementsprechende Zurückdrängung der Spelzen, ferner der Einfluß auf die Größe und das Gewicht der Rüben und Kartoffeln. Wießmann faßt das Ergebnis seiner Untersuchungen in dieser Hinsicht dahin zusammen, daß „die Pflanzen bei Kalimangel das Vermögen verlieren, ihren Organismus proportional aufzubauen, infolge verhältnismäßig oft fast normaler Entwicklung der zuerst entstehenden Organe auf Kosten der anderen, später sich entwickelnden, wobei aber Unterschiede in der Äußerung des Kalimangels auf die Ausbildung des Pflanzenorganismus sich geltend machen können je nach den äußeren Wachstumsverhältnissen, den zur Verfügung stehenden Nährstoffmengen und ihrem Verhältnis zueinander, sowie Familien-, Gattungs- und Sortenzugehörigkeit der Pflanzen". Während sich beim Stickstoff- und Phosphorsäuremangel Haferpflanzen zu zwar dürftigen, aber sonst vollständigen Pflanzen mit Rispen und Körnern ausbildeten, fand Wießmann bei Kalimangel, daß die Pflanzen sich „anfangs üppig entwickelten, dafür aber vorzeitig ohne Rispen- und Kornbildung abstarben", ein Ergebnis, welches sich mit den anderen, oben kurz zusammengefaßten Erfahrungen deckt. Dieser Einfluß des Kalis auf die Ausbildung des Kornes und der andern reservestoffspeichernden Organe hört mit der Wirkung des Kalis auf den Ertrag auf.

Diese Unterschiede in der Aufnahme der Nährstoffe, insbesondere dabei die gegensätzliche Wirkung von Kali und Stickstoff auf das Pflanzenwachstum sind besonders durch langjährige Untersuchungen der Versuchsstation in Bernburg geklärt worden. Sie haben gezeigt, daß beim Weizen mit dem Hervortreten der Ähren die Aufnahme des Kalis beendet ist und nun bis zur Ernte eine Abnahme eintritt, dagegen das Maximum der Stickstoffaufnahme erst später erfolgt und dementsprechend der Stickstoffgehalt der reifenden Pflanze langsamer sinkt. Bei der Kartoffel verteilt sich die Nährstoffaufnahme auf die ganze Wachstumszeit und steht hierbei das Kali an erster Stelle, was für die Stärkebildung beachtlich ist. Eine Zwischenstellung zwischen Weizen und Kartoffel nimmt die Gerste ein, bei der ein Zurückdrängen der Eiweißbildung und eine stärkere Erzeugung von Kohlehydraten für bestimmte, z. B. Brauzwecke erwünscht ist, wie es durch Kalidüngung erreicht werden kann. Durch die durch die reifebeschleunigende Wirkung des Kalis erzielte Hemmung der zwar wachstumsfördernden, aber zugleich reifeverzögernden Wirkung des Stickstoffs wird daher unter Umständen eine Beschaffenheit und Zusammensetzung der Pflanzen erreicht, welche hinsichtlich ihrer Verwertung und Brauchbarkeit von besonderer praktischer Bedeutung sein kann. Wenn Remy weiter glaubt, daß z. B. bei der Braugerste „eine Abnahme des Proteingehaltes unter dem Einflusse der Kalidüngung unzertrennlich an eine durch letztere bewirkte Ertragserhöhung geknüpft ist", so stehen dieser Beobachtung Versuchsergeb-

nisse von Märcker entgegen, nach denen bei Kalidüngung einmal Ertragssteigerung und Erhöhung des Proteingehaltes eingetreten, dann wieder bei geringerer Ertragssteigerung der Proteingehalt gesunken ist.

Besondere Beziehungen bestehen zwischen der Kali- und Kalkaufnahme durch die Pflanzen; es ist schon früher auf die Wechselwirkung von Kali und Kalk hingewiesen worden. Diese Zusammenhänge in der Wirkung von Kali und Kalk hat P. Ehrenberg in seinem Kalk-Kali-Gesetz zu erfassen gesucht; dieses Gesetz lautet: „Wird für eine nur schwächer mit Kali versorgte Pflanze die Kalkzufuhr erheblich gesteigert, so tritt hierdurch eine Zurückdrängung der Kaliaufnahme ein, welche erhebliche Schädigung im Gefolge haben kann; durch einseitige Verstärkung der Kalidüngung kann aber wieder die Pflanze vor Kalküberschwemmung bewahrt und zu günstigerer, gegebenenfalls normaler Entwicklung gebracht werden.“ Diese Wechselbeziehungen zwischen Kali- und Kalkaufnahme der Pflanzen, für deren Nachweis Ehrenberg Versuche verschiedener Forscher heranzieht, können zunächst noch nicht als allgemein gültig angesehen werden. Th. Pfeiffer und Rippel, J. König lehnen dieses Gesetz auf Grund ihrer Versuche ab. Br. Tacke zieht auch aus seinen Versuchen auf Hochmoorboden den Schluß, daß „ein Einfluß stärkerer oder schwächerer Kalkzufuhren auf den Gehalt der Erträge an Kali etwa im Sinne des Kalk-Kali-Gesetzes nicht festzustellen gewesen ist.“

Von den Bestandteilen der Nebensalze der Kalisalze verdienen noch Chlor, Magnesium und Natrium in ihrer Wirkung auf das Wachstum der Pflanzen Beachtung. Da aber in Band I (S. 118 u. flgde.) auf die Aufnahme dieser Elemente durch die Pflanzen näher eingegangen ist, genügt hier dieser Hinweis; über besondere Wirkungen bei einzelnen Pflanzen wird später noch berichtet werden. Besonders interessiert hier in allgemeiner Hinsicht die Wirkung des Natriums, welches als Ersatzstoff des Kaliums bei Kalimangel angesprochen wird. Diese Auffassung begegnet nicht unberechtigtem Widerspruch.

Die Begünstigung der Stengel- und Blattbildung durch Kali wird allgemein anerkannt. Hierbei scheint aber der Einfluß des Lichtes größer zu sein als derjenige des Kalis insofern, als im Schatten wachsende Pflanzen auch bei Kalidüngung in der äußeren Entwicklung (Länge usw.) zurücktreten.

Vielfach ist ein günstiger Einfluß des Kalis auf die mechanische Beschaffenheit des Getreidehalmes beobachtet worden, indem der Halm bezw. die Halmwand dicker und widerstandsfähiger gegen Lagerung war. Eigene Untersuchungen haben eine Dickenzunahme des Getreidehalmes nach Kalidüngung ergeben. Dabei kann es aber keinem Zweifel unterliegen, daß hierbei auch noch andere Faktoren mitwirken und zum Teil vielleicht von noch größerer Bedeutung für die Lagerfestigkeit des

Getreides sind, als die Kalidüngung; dazu gehören die Standweite in erster Linie, gleichmäßige Ernährung, Witterung u. s. f.

Man nimmt auch an, daß die mit Kali gedüngten Pflanzen gegen Frost widerstandsfähiger sind. Ebenso sollen diese Pflanzen pflanzlichen und tierischen Schädlingen besser widerstehen können. Es muß dahingestellt bleiben, ob es sich hier tatsächlich um eine besondere Schutzwirkung des Kalis handelt; mir will es wahrscheinlicher sein, daß die durch die Kalidüngung erreichte Volldüngung der Pflanzen eine gesunde Entwicklung der Pflanzen herbeigeführt hat und hierin der Grund für ihre größere Widerstandsfähigkeit liegt. Dieses gilt wohl mit Sicherheit bei der Annahme, daß die Kalidüngung die Rüben gegen Nematoden schützt; diese Schädlinge werden durch das Kalisalz nicht unmittelbar getötet.

Nach den Angaben von O. Nolte soll durch die Kalidüngung bei Ölfrüchten und Tabaksamen die Fettbildung, bei Senf die Bildung von Senföl, bei Kümmel diejenige von ätherischen Ölen und beim Hopfen die Entstehung von Bitterstoff und Harzen gefördert werden.

Das Kalibedürfnis der Pflanzen ist sehr verschieden. Der Kalimangel zeigt sich in der Färbung der Blätter an. Nach den Feststellungen Wilfarths erscheinen bei Kalimangel auf den Blättern zwischen den Blattnerven gelbbraune Flecken; die fleckigen Blätter neigen zu ungleichmäßigen Krümmungen und sterben zum Teil ab. Wießmann bezweifelt, daß diese Blattfärbung auf Ernährungseinflüsse zurückzuführen ist und läßt dahingestellt, ob es sich dabei nicht um eine Eigentümlichkeit einzelner Pflanzen handelt; nach ihm soll auch die Form des Kalisalzes den Farbenton der Blätter beeinflussen. Es dürfte aber doch die Richtigkeit der Beobachtung Wilfarths zutreffen. Wahrscheinlich wird die Wirkung des Kalimangels durch die Wirkung anderer Nährstoffe, z. B. des Stickstoffs oder Mangans verdeckt. Remy führt die durch Chloride hervorgerufene Hellfärbung des Kartoffellaubes nicht nur auf Chlorophyllveränderung, sondern auf Vermehrung des gelben Chlorophyllkomponenten zurück. Der Chlorophyllgehalt gesunder grüner Blätter wird durch den Einfluß der Kalidüngung vermindert und zwar tritt diese Wirkung nach den Angaben von Remy bereits ein, wenn die Kalisalze in den Mengen gegeben wurden, die zur Ernte-sicherung nötig waren; dabei wirkten die Chloride stärker als die Sulfate und Silikate. Die Assimilation und der Ertrag der Pflanzen wurde dadurch nicht beeinträchtigt, sodaß Beziehungen zwischen Chlorophyllgehalt und Assimilationsfähigkeit der Blätter nicht anzunehmen sind.

Für die Kalibedürftigkeit der Pflanzen hat Th. Remy die nachstehende Reihenfolge nach abnehmendem Kalibedarf aufgestellt: 1. Kartoffel; 2. Erbsen, Sandwicken, Runkelrüben, Zuckerrüben, Rotklee; 3. Sommergerste, Weizen, Hafer, Kohlrüben, Kopfkohl; 4. Roggen.

Diese Reihenfolge zeigt im großen und ganzen den verschiedenen Kalibedarf der einzelnen Pflanzen an.

Die Kartoffel hat von allen Kulturpflanzen das größte Kalibedürfnis. Der beste Kalidünger ist der Stallmist, jedoch reicht die Menge desselben zur Deckung des Bedarfes nicht aus. Das Kali lagert sich zumeist in der Kartoffelknolle ab. Den Kartoffeln stehen die Zuckerrüben und Futterrüben im Kalibedarf nahe. Ein Unterschied besteht insofern, als das Kali bei den Zuckerrüben in der Hauptsache im Blatt, bei den Futterrüben in der Rübe abgelagert wird. In der Wirkung scheint aber zwischen den Zucker- und Futterrüben ein Unterschied dahingehend vorhanden zu sein, als Kali bei Futterrüben mehr auf den Ertrag wirkt. Steckrüben und Mohrrüben haben sich auch als kalibedürftig erwiesen.

Hülsenfrüchte jeder Art lohnen selbst da, wo sie das Bodenkali gut ausnützen können, eine Kalidüngung und haben sich durchweg als sehr kalibedürftig erwiesen. Sie nehmen das Kali bereits sehr frühzeitig in Anspruch, und erweist sich hier die reifebeschleunigende Wirkung des Kalis als förderlich für den Stickstoffgehalt der Pflanzen. Vor allem wird durch das Kali die Kornausbildung gefördert, obwohl die Aufnahme des Kalis im Stroh und in der Spreu deutlicher hervortritt als in den Körnern.

Rotklee, Luzerne und andere hierher gehörigen Futterpflanzen lohnen eine frühzeitig wirksame Kalidüngung durch gute Erträge. Deshalb ist es auch erklärlich, daß in Wiesenbeständen, die stark mit Kali gedüngt worden sind, diese Pflanzen sich sehr vermehren, wenn vor allem Phosphorsäure nicht fehlt, wie die früheren Ausführungen (S. 152) gezeigt haben. Die zerstörende Wirkung der Kalisalze auf wertlose Pflanzen wie Moose, Binsen usw. und die Verbesserung des Pflanzenbestandes auf Wiesen und Weiden durch die Kalidüngung in quantitativer und qualitativer Hinsicht ist eine so allgemein anerkannte Tatsache, daß es sich erübrigt, an dieser Stelle noch zahlenmäßige Beweise dafür anzuführen, die uns aus zahlreichen eigenen und auch anderweitigen Versuchen zur Verfügung stehen. Dieses gilt für alle Böden, auch für Hochmoorboden, für den Br. Tacke durch seine Versuche den Beweis liefert. Hierbei findet Tacke die von P. Wagner vertretene Ansicht bestätigt, daß bei 2% Kali im Heu der Kaligehalt des Bodens zur Deckung des Kalibedarfs der Pflanzen ausreicht; ich verweise auf die früheren Ausführungen hierüber (S. 16), wonach diese Feststellung nicht als eine gesetzmäßige Regelmäßigkeit gewertet werden darf.

Bei den Getreidearten tritt der Kalibedarf zurück. Allgemein zeigt sich die Wirkung des Kalis besonders in der Kornausbildung, während die Ablagerung des Kalis mehr im Stroh erfolgt. Am kalibedürftigsten sind Weizen und Gerste, dagegen ist der Kalibedarf bei

Hafer und mehr noch bei Roggen geringer; dieses zeigt sich besonders auf den kaliärmeren, leichteren Böden, welche an sich für den Anbau von Weizen und Gerste weniger geeignet sind. Dazu kommt, daß Roggen und Hafer das Bodenkali gut ausnutzen können, sodaß ihr Bedürfnis nach Kalizufuhr nicht so sehr hervortritt. Mais und Hirse gelten als sehr kalibedürftig. Für Buchweizen ist dieses ebenfalls anzunehmen; wenn die Wirkung des Kalis nicht immer günstig ist, so glaubt Nolte den Grund dafür darin suchen zu sollen, daß Buchweizen kaum züchterisch bearbeitet ist und diese Pflanzen die Düngung schlechter verwerten; dieses dürfte noch weiter zu prüfen sein.

Ölfrüchte sind dankbar für eine reichliche Kalizufuhr, sodaß selbst neben Stallmist zur Deckung des Bedürfnisses für Kali die Anwendung von Kalisalzen nötig ist. Auch die Faserpflanzen (Lein, Hanf) verlangen viel Kali. Als besonders kalibedürftig gilt die Tabakpflanze; die Qualität des Tabaks (Glimmbarkeit) hängt ganz wesentlich von der ausreichenden Versorgung der Pflanzen mit Kali ab. Bei Hopfen soll durch eine Kalidüngung eine bessere Qualität für Brauereizwecke erzielt werden; diese Pflanzen erfordern viel Kali. Letzteres gilt vor allem auch für Spargel, der, wie die Versuche von J. König und E. Haselhoff gezeigt haben, eine zeitige und reichliche Kalidüngung durch hohe Erträge lohnt. Diese Versuche haben wohl zuerst auf die Beziehungen zwischen Stickstoffgehalt und Kalidüngung der Pflanzen, wie sie früher dargelegt wurden, hingewiesen. Schließlich mag noch kurz das große Kalibedürfnis der Kohlarten, wie überhaupt der meisten Gemüsearten und des Obstes erwähnt werden.

c) Wirkung der verschiedenen Kaliverbindungen

In den Kalidüngern haben wir es im wesentlichen mit den wasserlöslichen Kalisalzen des Chlors, der Schwefelsäure und der Kohlensäure zu tun, zurücktretend noch mit den Silikatverbindungen. Soweit es sich um die ersteren Kaliverbindungen handelt, besteht kein Unterschied in der Wirkung des Kalis als solches. Wo sich solche Unterschiede gezeigt haben, ist die Ursache nicht in dem Kali, sondern in den anderen Bestandteilen der Kalisalze zu suchen; aber auch dabei kann von einem bestimmten Wirkungsverhältnis zwischen diesen verschiedenen Kalisalzen keine Rede sein. Die Wirkung des Silikatkalis ist sehr beschränkt; Bodenart, Bodenbeschaffenheit und andere Faktoren beeinflussen sie sehr und kann ihr dabei für gewöhnlich keine große praktische Bedeutung beigelegt werden.

d) Gewinnung kalihaltiger Düngemittel

Für die Kalidüngung kommen in erster Linie die Wirtschaftsdünger in Frage. Im Stallmist ist das Kali leicht löslich und wird von den Pflanzen gut ausgenutzt. Darin liegt der Grund dafür, daß

selbst bei der stark kalibedürftigen Kartoffel neben Stallmistdüngung die Beigabe von Kalidünger zurücktreten, bei anderen, weniger Kali beanspruchenden Pflanzen eine Düngung mit Kalisalzen zum Teil ganz unterbleiben kann. Gleiches gilt für die Gründünger und für den Kompost. Ich verweise auf die früheren Ausführungen über diese Wirtschaftsdünger (S. 87 u. 92). In der Regel werden diese Wirtschaftsdünger aber nicht zur Deckung des Kalibedarfes der Pflanzen ausreichen und wird deshalb die Anwendung der käuflichen Kalidünger nicht zu umgehen sein, wenn eine ausreichende Ernährung der Pflanzen zur Erzielung von Vollerträgen sichergestellt werden soll.

Als Kalidünger stehen an erster Stelle die ursprünglich nach den ersten Fund- und Ablagerungsstätten als Staßfurter Abraumsalze bezeichneten Kalisalze. Diese Benennung besagt heute nichts mehr für die Herkunft und Zusammensetzung der Kalidünger. Die Fundstätten erstrecken sich aus dem Staßfurter Gebiet nach Westen und Südwesten durch das Rhöngebiet bis nach Baden und Elsaß, und selbst in Spanien sind Kalisalze gefunden. Die ersteren Ablagerungen sind die bedeutungsvollsten und teilt sich durch ihre Ausnutzung jetzt Deutschland mit Frankreich in die Versorgung der Welt mit Kalidüngern. Die sonst noch festgestellten Kalivorkommen in Galizien, Vorderasien u. a. haben hierfür keine wesentliche Bedeutung. Für die Entstehung der Kalisalzablagerungen sind verschiedene Erklärungen gegeben; wahrscheinlich sind sie auf die Verdunstung abgeschlossener Meeresbecken zurückzuführen; es kann an dieser Stelle dahingestellt bleiben, ob diese oder eine andere Erklärung dafür richtig ist.

Neben den Rohsalzen, von denen die Kalirohsalze: Kainit, Karnallit, Hartsalz, Sylvinit zu nennen sind, haben wir als Kalidüngesalze noch Fabrikate, welche durch Lösen der Rohsalze, namentlich des Karnallites, Auskristallisieren der Salze und Eindampfen der Laugen erhalten werden. Die so erhaltenen konzentrierteren Kalisalze, insbesondere Chlorkalium, werden teils als solche, teils wieder mit Rohsalzen vermischt für Düngezwecke verwendet. Wir erhalten so neben Chlorkalium, Kaliumsulfat und schwefelsaurer Kalimagnesia die Kalidüngesalze mit 20, 30 und 40% Kali. Mit Rücksicht darauf, daß diese Kalisalzgemische sich wieder entmischen können, wodurch Ungleichmäßigkeiten in den verschiedenen Teilen einer Ladung herbeigeführt werden, wäre es besser, wenn die Herstellung dieser Mischsalze unterbliebe und nur die unvermischten Kalisalze in den Handel kämen. Die Zusammensetzung der hauptsächlichsten Kalisalze ist nach den Feststellungen der Kaliforschungsanstalt, denen die Schwankungen im Kaligehalt der Handelsware angefügt sind, folgende. (Siehe Tabelle auf Seite 178.)

Salze	Kali im Durchschnitt	Bestandteile auf Salze berechnet						Unlöslich in Wasser	Wasser	Schwankungen der Handelsware im Gehalt an Kali
		Kaliumchlorid	Natriumchlorid	Magnesiumchlorid	Kaliumsulfat	Magnesiumsulfat	Kalziumsulfat			
	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
Kainit	13,0	20,5	24,1	—	—	36,4	1,7	0,8	16,5	12—15
Karnallit	9,8	15,5	22,4	21,5	—	12,1	1,9	0,5	26,1	9—11
Hartsalz	13,0	20,5	46,3	2,3	—	20,8	1,8	2,6	5,7	12—15
Sylvinit	17,4	27,6	56,7	1,8	—	3,4	2,8	3,2	4,5	17 19
Schwefelsaures Kali	49,9	1,6	1,2	1,0	90,6	2,7	0,4	0,3	2,2	48—50
Schwefelsaure Kali-Magnesia	27,2	—	3,5	—	50,4	28,0	3,4	7,6	7,1	26—28
Chlorkalium . .	52,6	83,5	14,5	0,3	—	0,4	—	0,2	1,1	50—52
20% Kalidüngesalz	20,9	33,3	40,2	4,2	—	12,0	2,1	4,0	4,2	18—22
30% Kalidüngesalz	30,7	48,6	26,2	4,2	—	10,2	2,2	3,5	5,1	28—32
40% Kalidüngesalz	40,4	64,1	21,2	1,1	—	5,5	2,4	3,1	2,6	38—42

Es handelt sich danach bei den Kalisalzen im wesentlichen um Chloride und Sulfate, die neben Kalium mehr oder weniger Natrium, Magnesium und Kalzium enthalten.

Kieserit, welcher in den Kalisalzablagerungsstätten gefunden wird, ist kein Kalisalz, vielmehr besteht er aus 87% Magnesiumsulfat und 13% Wasser. Er hat dadurch eine besondere Bedeutung, daß er sich mit Chlorkalium in schwefelsaure Kalimagnesia umsetzt, welche weiter mit Chlorkalium das Kaliumsulfat liefert.

Die bei der Gewinnung des Chlorkaliums aus Karnallit schließlich verbleibende Endlauge ist ein für die Kaliindustrie sehr lästiger Rückstand, weil seine Beseitigung Schwierigkeiten bereitet. Die Ableitung dieser Endlaugen in die Flüsse begegnet mit Recht großem Widerspruch der Flußanlieger, weil diese Zuleitungen das Flußwasser zu Trink- oder sonstigen häuslichen Zwecken ungeeignet machen und die Brauchbarkeit dieses Wassers für Wiesenberieselung, Fischzucht usw. sehr einschränken. Dieses ergibt sich ohne weiteres aus der Zusammensetzung solcher Endlaugen, welche nach den Untersuchungen von J. H. Vogel enthalten in 100 kg: 29,6 kg Chlormagnesium, 2,7 kg schwefelsaure Magnesia, 0,8 kg Chlorkalium, 0,7 kg Chlornatrium, 0,1 kg Brommagnesium. Um die Schwierigkeiten der Ableitung der Endlaugen für die Kaliindustrie zu beseitigen, hat von Alten vorgeschlagen, sie über gebrannten Kalk zu leiten und den dabei erhaltenen Kalk, den sogen.

Endlaugenkalk, für Düngezwecke zu verwenden. Über die Brauchbarkeit hierfür soll später (S. 197) unter „Kalkdünger" berichtet werden. Hier sei nur zur Beurteilung der Brauchbarkeit dieses Verfahrens auf Ausführungen von E. Haselhoff verwiesen, wonach, abgesehen von der sehr zweifelhaften Wirtschaftlichkeit, in jedem Falle da, wo dieser Endlaugenkalk vor der Verwendung gelagert werden muß, Vorkehrungen zu treffen sind, durch welche lagernder Endlaugenkalk gegen atmosphärische Niederschläge geschützt und der Abfluß von Sickerwasser aus dem Endlaugenkalk unmöglich gemacht wird.

Neben diesen Kalidüngesalzen haben andere kalihaltige Stoffe als Düngemittel nur eine geringe Bedeutung, weil entweder ihre Menge nicht groß oder aber das Kali in so schwer löslicher Form vorhanden ist, daß die Pflanzen es nicht in ausreichender Menge aufnehmen können. Dahin sind zu rechnen:

Die Asche der Brennmaterialien. An erster Stelle stehen hier die Holzaschen, die bei Laubholz etwa 10%, bei Nadelholz 6% Kali neben 2—3% Phosphorsäure und 30—35% Kalk enthalten. Die Bedeutung der Holzasche als Kalidünger ist da, wo noch vorzugsweise Holz zur Feuerung benutzt wird, nicht zu unterschätzen. Das Kali ist als Karbonat vorhanden, und sind Stoffe, welche auf den Boden und die Pflanzen ungünstig wirken, darin nicht vorhanden. Die Aschen von Steinkohlen, Braunkohlen und Briketts sind kaliärmer (weniger als 1% Kali); sie wirken mehr durch ihren Kalkgehalt.

Kalihaltige Gesteine. Der Kaligehalt und die Löslichkeit des Kalis in diesen Gesteinen ist sehr verschieden, aber allgemein kann gesagt werden, daß die Löslichkeit des Kalis in dem gewöhnlichen Zersetzungsprozeß im Boden bei dem Anbau der Pflanzen so gering ist, daß diese Kaliquelle nicht nur nicht zur Ernährung der Pflanzen ausreicht, sondern hierfür so mäßig fließt, daß sie eine Berücksichtigung kaum verdient. Versuche, welche E. Haselhoff im unverwitterten Gestein von Buntsandstein, Basalt, Muschelkalk und Grauwacke ausgeführt hat, zeigen deutlich die geringe Löslichkeit des Kalis in diesen Gesteinen. Es genügt als Beispiel hierfür die Löslichkeit durch die Atmosphärilien (Luft, Wärme, Wasser) anzugeben, um die geringe und verschiedene Löslichkeit dieses Gesteinskalis zu zeigen; es wurden gefunden:

	Buntsandstein	Muschelkalk	Grauwacke	Basalt
Gesamtkali	3,67 %	0,34 %	1,24 %	1,90 %
Löslich in Prozenten des Gesamtkalis	0,003 „	0,009 „	0,003 „	0,014 „

Auch die von F. Mach nach dem Keimpflanzenverfahren von Neubauer ausgeführten Versuche zeigen die geringe, aber doch unterschiedliche Löslichkeit des Kalis im unverwitterten Gestein. Aus Gneis

und Granit ist die Kaliaufnahme relativ hoch und sucht Mach die Ursache hierfür in dem Glimmergehalt. Das würde mit anderweitigen Beobachtungen übereinstimmen, so insbesondere mit den Versuchsergebnissen von Blanck, wonach das Glimmerkali von den Pflanzen besser als das Feldspatkali ausgenutzt wird. Immerhin scheint doch in der Beurteilung der Kaliwirkung glimmerartiger Stoffe Zurückhaltung geboten zu sein. Versuche von Blanck mit Serizit, der durch die Zersetzung feldspatführender Gesteine wie besonders Granit und Quarzporphyr entsteht, sprechen nicht dafür, daß Serizitkali auf die Produktion günstig wirkt.

Besonders ist längere Zeit hindurch Phonolith als Kalidünger angeboten worden. Phonolith ist ein Leuzitporphyr, welcher aus den Mineralien Nosean, Sanidin, Nephelin, Leuzit, Augit, Biotit besteht. Die Zersetzlichkeit dieser Mineralien ist sehr verschieden; es scheint, daß sie bei Leuzit am günstigsten ist und Sanidin in dieser Hinsicht an letzter Stelle steht. Es ist erklärlich, daß man Leuzit besonders da als Kalidünger hat verwenden wollen, wo dieses Mineral in größerer Menge vorkommt, also in Italien. Aber die hier und ferner die von Prianischnikow ausgeführten Versuche sprechen nicht für die Brauchbarkeit des Leuzits als Kalidünger. H. v. Feilitzen hat zwar eine deutliche Kaliwirkung des Phonoliths und Nephelinsyenits auf Moorboden bemerkt, sagt aber darüber, daß diese Wirkung auf den Ertrag, die Kaliaufnahme und die Kaliausnutzung zu gering gewesen ist, um das Kali dieser Gesteine für Düngezwecke auszunutzen. Tacke hat auf saurem Moorboden keine günstige Wirkung des Kalis solcher Gesteine feststellen können.

Diese und andere Versuche, die hier nicht näher angeführt zu werden brauchen, lassen keinen Zweifel darüber, daß die unverwitterten Gesteine, auch wenn sie 10% Kali und mehr enthalten, im Vergleich zu den Kalidüngesalzen als Kalidünger wertlos sind.

Man hat versucht, das Kali dieser Gesteine dadurch löslich und für die Pflanzen leichter aufnehmbar zu machen, daß man diese Gesteine im Gemisch mit anderen Stoffen erhitzt hat. Söderbaum hat in dieser Weise durch Erhitzen eines Gemisches von Kalifeldspat, Kalkstein und Gips bei 1150° den sogenannten Kalikalk mit 5,4—5,8% Kali erhalten, der auf Moorboden bei Hafer günstig gewirkt hat, zum Teil wohl durch den vorhandenen Kalk. Durch Schmelzen von Kalifeldspat oder Kaligneis mit Eisenschrot im elektrischen Ofen wird in Schweden das sogenannte Elektrokali mit 11% Kali, an Kieselsäure gebunden, hergestellt; es soll nach Söderbaum auf Moorboden günstig gewirkt haben, ist aber nach den Versuchen von Ehrenberg kein brauchbarer Dünger für sandige und lehmige Mineralböden. Es kann als ausgeschlossen gelten, daß in dieser Weise heute ein Dünger ge-

wonnen wird, welcher mit den erstgenannten Kalidüngesalzen in Wettbewerb treten kann.

Hierhin gehört auch noch Martellin, kieselsaures Kali, welches als Spezialdünger für Tabak empfohlen wurde, sich aber hierfür nicht hat einführen lassen.

Abfälle verschiedener Art. Davon seien hier erwähnt: Schlempekohle, der Rückstand der Spiritusgewinnung aus Rübenmelasse, enthält bis 10% Kali. Der Gichtstaub der Hochöfen hat 4%—13% Kali, welches aus dem mehr oder weniger kalireichen Ofenfutter stammt. Seetang ist zum Teil so kalireich, daß daraus zeitweise ein Kalidünger hergestellt wurde. Seeschlick zählt ebenfalls zu den kalihaltigen Abfällen, dürfte aber im wesentlichen mehr in physikalischer Richtung auf den Boden wirken, als durch seinen Kaligehalt der Ernährung der Pflanzen dienen.

e) Anwendung der Kalidünger

Für die Kalidüngung kommen nach den bisherigen Ausführungen im wesentlichen nur die Kalidüngesalze in Frage, in denen in der Hauptsache das Kali an Chlor oder Schwefelsäure gebunden ist. Es ist bereits auf die Wirkung dieser Nebenbestandteile, welche zum Teil auch an Natrium, Magnesium und Kalzium gebunden sind, hingewiesen worden und wird darauf auch nachher noch eingegangen werden, soweit sich hierbei besondere Wirkungen auf das Pflanzenwachstum ergeben. Es erscheint deshalb für diese späteren Ausführungen wertvoll, neben der früher bereits angegebenen Zusammensetzung der Salze ihren Gehalt an Nebenbestandteilen zu kennen, der auf 100 Teile Kali entfällt. Nach den Berechnungen von P. Wagner entsprechen 100 Teilen Kali:

In dem Düngesalz:	Natron	Chlor	Magnesia	Schwefelsäure
Kainit	143	245	79	152
Karnallit	121	378	134	81
40% Kalidüngesalz . . .	27	108	6	9
50 „ „ . . .	15	92	0,5	0,5

Die Unterschiede in diesen Bestandteilen sind erheblich, es ist deshalb erklärlich, daß die Wirkung dieser Kalidüngesalze auf Boden und Pflanzen, welche gegen den einen oder anderen Bestandteil empfindlich sind, sehr verschieden sein kann. Soweit dabei der Boden in Frage kommt, wird sich auf den leichteren, sandigeren Böden dieser Einfluß der chloridreicheren Kalisalze weniger bemerkbar machen als auf den schwereren lehmigen und tonigen Böden, auf denen wegen der ungünstigen Wirkung auf die physikalischen Eigenschaften des Bodens die kon-

zentrierteren Kalisalze zu bevorzugen sind, welche auf 100 Teile erheblich weniger Chlorid enthalten.

In allen Fällen ist die frühzeitige Anwendung der Kalisalze, besonders der Kalirohsalze am Platze, weil dann immer mit der Wahrscheinlichkeit gerechnet werden darf, daß die Chloride gelöst und zur Zeit der Keimung der Samen weitgehendst aus dem Bereich der Wurzeln der jungen Pflanzen gewichen sind, sodaß eine nachteilige Wirkung unterbleibt. Daraus folgt weiter, daß diese Wirkung der chloridhaltigen Kalisalze sehr stark durch den Gehalt des Bodens an Wasser beeinflußt wird, sodaß, wenn genügend Wasser im Boden vorhanden ist, die chloridhaltigen Salze in großer Verdünnung auf die Pflanzenwurzeln einwirken und eine Schädigung nicht zu befürchten ist. Wir erkennen hieraus, daß die Zeit der Anwendung der Kalisalze für die Wirkung von besonderer Bedeutung ist und besonders für die chloridreichen Kalirohsalze nur die Anwendung vor der Aussaat in Frage kommen kann. Eine Kopfdüngung mit Kalisalzen darf nicht die Regel sein, sondern ist nur in besonderen Ausnahmefällen zulässig. Wo sie nicht zu vermeiden ist, sollte man niemals Kalirohsalze, sondern nur die im Verhältnis zum Kaligehalt chloridärmeren, konzentrierteren Kalisalze anwenden. An die Anwendung dieser Salze hat auch Remy wohl gedacht, wenn er annimmt, daß die Zeit der Anwendung der Kalisalze für die Wirkung nicht die Bedeutung hat, als meistens behauptet wird.

Für die Kaliwirkung ist natürlich Voraussetzung, daß die anderen Nährstoffe, darunter vor allem auch Kalk, in ausreichender Menge vorhanden sind. Dabei ist weiter beachtlich, daß das Kali leichter beweglich im Boden bleibt, als z. B. die Phosphorsäure und deshalb die zugeführte Kalimenge dem Kalibedarf des Bodens und der Pflanze auch mehr angepaßt werden muß, wenn nicht Kaliverluste entstehen sollen. Der Kalibedarf der Pflanzen hängt sehr von der Stallmistdüngung und von der Vorfrucht ab; letzterer kommt überhaupt ein großer Einfluß auf den Kalibedarf der Pflanzen zu. Über das Verhalten des Kalis im Boden äußert sich P. Wagner in folgender Weise: „Das Kali löst sich im Bodenwasser, verteilt sich weitgehend im Boden und wird von der Oberfläche der feinen Bodenteilchen gebunden. Es bleibt nicht freibeweglich. Das Bodenwasser löst zurzeit nur wenig davon auf, die direkte Berührung der Wurzelhaare mit dem absorbierten Kali muß mithelfen, es zur Aufnahme zu bringen. Man wird aber einsehen, daß eine direkte Berührung der Wurzelhaare mit jedem Bodenteilchen, das sich mit absorbiertem Kali umkleidet hat, nicht möglich ist, und es wird daher verständlich sein, daß die Ausnützung einer Kalidüngung im ersten Versuchsjahre verhältnismäßig gering sein muß. Es wird ein Rest des absorbierten Kalis sich der Aufnahme durch die Wurzeln und der Auflösung durch das Bodenwasser entziehen.“ Es mag dahingestellt

bleiben, ob der Verlauf der Kaliaufnahme so ist, wie Wagner annimmt; diese Angaben veranschaulichen aber die Kaliaufnahme im Boden durch die Pflanzen und erläutern, daß noch ein Rest des Kalis aus der Düngung zurückbleibt, der später zur Wirkung kommen kann, daß aber zunächst nur eine stärkere Kalidüngung, als dem tatsächlichen Bedarf der Pflanzen entspricht, eine gute Wirkung erwarten läßt.

Die nachteilige Wirkung der chloridreichen Kalisalze wird besonders bei den Hackfrüchten und hier vor allem wieder bei den Kartoffeln gefürchtet. Man nimmt auf Grund vieler Untersuchungsergebnisse an, daß durch die Salze, also vor allem durch die Kalirohsalze, bei den Kartoffeln weniger der Ertrag als die Qualität und dabei hauptsächlich der Geschmack und der Stärkegehalt verschlechtert wird. Deshalb wurde ursprünglich empfohlen, diese Kalirohsalze (Kainit) bereits zur Vorfrucht der Kartoffeln, spätestens aber im Herbst zu geben; Remy verwirft Kainit überhaupt als Kartoffeldünger. Selbst wenn die konzentrierten chloridhaltigen Kalisalze zu Kartoffeln angewendet werden, erfolgt die Düngung damit am besten zeitig vor dem Auspflanzen der Kartoffeln. Zwar sind auch bei der Anwendung dieser Salze als Kopfdünger günstige Ergebnisse erzielt worden, doch empfiehlt sich da, wo die wirtschaftlichen Verhältnisse eine Kopfdüngung nötig machen, das Kali durch schwefelsaures Kali und schwefelsaure Kalimagnesia zu geben. Remy hat gefunden, daß Kaliumsulfat selbst bei Anwendung im Juni noch günstige Erfolge in quantitativer und qualitativer Hinsicht gebracht hat.

Als bevorzugter Kalidünger für Kartoffel gilt die schwefelsaure Kalimagnesia. Dafür sprechen in erster Linie die damit in Holland gemachten Erfahrungen, welche später in Deutschland von Remy, Gerlach und für Moorboden auch von Tacke bestätigt werden. Die Annahme, daß hierbei der Magnesia eine besondere Wirkung zukommt, scheint nach den Versuchen von Popp nicht zuzutreffen, ein Ergebnis, welches auch in den Versuchsergebnissen von E. Haselhoff seine Bestätigung findet. Es darf daher die beobachtete günstige Wirkung der schwefelsauren Kali-Magnesia nicht als allgemein gültig angesehen werden. Boden und besondere wirtschaftliche Verhältnisse, vor allem auch die Witterung dürften den Erfolg der Kalisalze, rechtzeitige Anwendung vorausgesetzt, stark beinflussen, und scheint im übrigen den Sulfaten nur bei verspäteter Anwendung zu Kartoffeln als Kopfdünger eine gewisse Bedeutung zuzukommen.

Bei Zuckerrüben hat sich dieser Unterschied in der Wirkung der Chloride und Sulfate nicht gezeigt; immerhin wird man bei Zuckerrüben auch von den Chloriden die konzentrierteren Kalisalze bevorzugen. Im Gegensatz dazu hat bei Futterrunkelrüben Kalirohsalz am besten gewirkt. Der Grund dafür ist in dem Gehalt an Chlor zu suchen, nicht in dem Natriumgehalt, wie aus Versuchen von Schneide-

wind, Wagner u. a. m. zu folgern ist. Dieses gilt auch für die Wirkung der Chloride auf andere Pflanzen, wie Getreide, Gräser usw. Zu diesem Schluß muß man durch Ergebnisse aus Versuchen mit Ammonsulfat und Natronsalpeter kommen, bei denen in der Düngung mit Ammonsulfat das im Vergleich mit Natronsalpeter fehlende Natrium durch Chlornatrium ersetzt war; diese Beigabe von Chlornatrium hat den Ertrag durch Ammonsulfat nicht erhöht. Zu beachten bleibt immer bei der Anwendung der Kalirohsalze die keimungsverzögernde Wirkung der chlorhaltigen Nebensalze und ihr ungünstiger Einfluß auf die Bodenbeschaffenheit; hiermit muß auch bei dem Anbau der Futterrüben gerechnet werden und ist deshalb die frühzeitige Anwendung der Kalisalze auch hier geboten.

Die Versuche mit Hülsenfrüchten lassen keinen erheblichen Unterschied in der Wirkung der verschiedenen Kalisalze erkennen. Immerhin deuten die Ergebnisse sowohl hinsichtlich des Ertrages wie der Kaliaufnahme darauf hin, daß die Chloride auch selbst in den Kalirohsalzen hier günstiger wirken als die Sulfate; die Beigabe von Magnesiumsulfat beeinträchtigt den Erfolg.

Gleiches gilt für die Futterpflanzen wie Klee, Luzerne, Wiesengräser, vielleicht ohne die besondere Wirkung des Magnesiumsulfates. Wenn die Frachtkosten nicht zu hoch werden, wird man gerade auf den Grünlandflächen die Kalirohsalze besonders bevorzugen, weil neben der billigeren Versorgung mit Kali hier auch die Nebensalze einen günstigen Einfluß auf das Gedeihen der Pflanzen ausüben. Dabei darf aber nicht übersehen werden, daß Br. Tacke auf Hochmoorboden eine Überlegenheit des 40% Kalisalzes bezw. 50% Chlorkaliums über den Kainit bei Wiesendüngung festgestellt hat.

Für die Getreidearten hat die Art der Kalisalze nicht die Bedeutung wie für die Hackfrüchte. Die Auswahl richtet sich mehr nach den besonderen wirtschaftlichen Verhältnissen, sodaß, wenn die rechtzeitige Anwendung der Kalisalze erfolgt, auf die Kalirohsalze nicht verzichtet zu werden braucht. Wo man zur Anwendung des Kalis als Kopfdünger gezwungen ist, wird man aber auch hier die konzentrierteren Salze vorziehen.

Beim Tabak bietet der Chlorgehalt einen Anhalt für die Qualität; es kann nach den Mitteilungen von J. Behrens und O. Nolte dahingestellt bleiben, ob der von P. Wagner angegebene Höchstgehalt von 6% Chlor für gute Glimmbarkeit richtig ist, jedenfalls drückt ein höherer Chlorgehalt die Güte des Tabaks herab und ist aus diesem Grunde die Anwendung chloridhaltiger Kalisalze beim Anbau des Tabaks nicht zu empfehlen, vielmehr sind hier Sulfat, Karbonat und Silikat zu bevorzugen.

Die Faserpflanzen lohnen die Düngung mit chloridhaltigen Kalisalzen durch gute Erträge. Bei allen übrigen Pflanzen haben sich bis-

her keine wesentlichen Unterschiede in der Wirkung der verschiedenen Kalisalze gezeigt, sodaß hier bei ihrer frühzeitigen Anwendung keine erheblichen Unterschiede im Ertrage zu erwarten sind.

Zum Schluß sei noch kurz auf die Verwendbarkeit des feingemahlenen Kainits zur Vernichtung von Hederich, Senf, Mohn, Kornblume, Ackerwinde hingewiesen. Durch diesen sogenannten Staubkainit kann eine Vernichtung dieser Unkräuter erreicht werden, wenn er frühzeitig, d. h. auf die jungen, wenig entwickelten, betauten oder regenfeuchten Pflanzen gestreut wird; die Wirkung ist noch sicherer, wenn auf die Anwendung des Staubkainits ein trockener Tag folgt.

6. Kalkhaltige Düngemittel

Auf die Bedeutung des Kalkes für die Bodenkultur und für das Gedeihen der Pflanzen ist bereits wiederholt bei der Besprechung des Einflusses des Kalkes auf die Wirkung der bisher erörterten Pflanzennährstoffe Stickstoff, Phosphorsäure und Kali, sowie der organischen Wirtschaftsdünger hingewiesen worden. Hierauf kann bei den folgenden Ausführungen bezug genommen werden, sodaß diese mehr als eine Ergänzung der früheren Darlegungen anzusehen sind. Der Kalk ist nicht nur als Pflanzennährstoff unmittelbar wichtig, sondern weit mehr noch als Regeler des Nährstoffvorrats im Boden mittelbar wertvoll für das Pflanzenwachstum.

a) Das Kalkbedürfnis unserer Böden und die Wirkung des Kalkes auf den Boden

Der Kalkgehalt unserer Kulturböden wechselt außerordentlich je nach der Zusammensetzung des bodenbildenden Gesteins, nach dem Grade der Verwitterung des Gesteins und den Verlusten, welche durch Witterung, Kulturmaßnahmen und Pflanzenanbau herbeigeführt worden sind. Für die Kalkbedürftigkeit kommt aber ferner auch die Art der Bindung des Kalkes im Boden in Betracht; je leichter der Kalk aus seiner Bindung gelöst und für die Pflanze verfügbar wird, um so wertvoller ist er für die Pflanzenernährung und tritt die Kalkbedürftigkeit des Bodens entsprechend zurück. Wenn wir von den Stickstoff- und Phosphorsäureverbindungen des Kalkes absehen, die gar nicht oder nur zu einem sehr geringen Teil dem Boden an sich angehören, vielmehr auf die Zufuhr durch Dünger zurückzuführen sind, so haben wir es im Boden in der Hauptsache zu tun mit: Kalziumkarbonat, Kalziumsilikat und vor allem im Moorboden noch mit Kalziumhumat; Kalziumsulfat tritt diesen Kalkverbindungen gegenüber zurück. An erster Stelle steht Kalziumkarbonat, weil es durch die Aufnahme von Kohlensäure am schnellsten in die lösliche Form des doppeltkohlensauren Kalkes über-

geführt wird. Diese Umwandlung des Kalksilikates wird langsamer als beim Kalkkarbonat verlaufen und sehr von der Art des Silikates abhängig sein. Man wird das Kalksilikat des Bodens mehr als Kalkreserve anzusehen haben, welche nur allmählich je nach dem Verlaufe der Verwitterung der Pflanzenernährung erschlossen wird. Ähnlich ist es mit dem humussauren Kalk. Auf die Wirkung des Kalksulfates ist später noch einzugehen, doch sei hier schon bemerkt, daß der Kalk in dieser Form im ursprünglichen Boden für die Ernährung der Pflanzen keine große Bedeutung hat.

Die Umsetzung des Kalkes im Boden in Karbonat geht nur nach und nach vor sich und ist von der Bildung der Kohlensäure infolge Zersetzung der organischen Stoffe abhängig. Die Annahme, daß der Kalk sich im Boden vollständig in Karbonat umwandelt, kann nach den Versuchen von G. Hager und F. Scheffer nicht aufrecht erhalten werden, weil eine Adsorption des Kalkes durch die Feinerdebestandteile stattfindet und die zur Bindung des Kalkes erforderliche Kohlensäure im Boden erst nach und nach entsteht. Sie könnte vielleicht für Böden mit hohem Karbonatgehalt zutreffen. Fehlt es an kohlensäurebildenden organischen Stoffen, so ist mit einer alkalischen Reaktion des Bodens zu rechnen, während die Anhäufung von Kohlensäure im Boden aus zersetzten organischen Stoffen bei Kalkmangel eine saure Reaktion des Bodens mit ihren nachteiligen Wirkungen auf die physikalischen und kolloidchemischen Bodeneigenschaften und auf das Pflanzenwachstum hervorrufen muß. Wir erkennen daraus die Wechselwirkungen von Kalk und Kohlensäure bezw. zersetzungsfähigen organischen Stoffen im Boden, welche letzteren einen bestimmenden Einfluß auf die Kalkwirkung haben. Daraus ergibt sich aber auch die große Schwierigkeit, die für die richtige Erkennung des Kalkhaushaltes im Boden besteht. Mit Sicherheit können wir ein Kalkbedürfnis des sauren Hochmoorbodens und der kalkarmen Sandböden annehmen. Bei den besseren und schwereren Böden ist diese Sicherheit kaum gegeben; wenn man auch meistens nicht damit rechnet, so kann doch selbst auf Böden, deren Kalkgehalt durchaus nicht gering ist, eine Kalkbedürftigkeit vorhanden sein. Dabei spricht vor allem die Tatsache mit, daß im Gegensatz zu anderen Pflanzennährstoffen, welche dem Boden durch Dünger zugeführt werden, der Kalk nicht nur unmittelbar den Pflanzen als Nährstoff dient, sondern auch mittelbar dadurch, daß er auf den Boden einwirkt und eine für das Gedeihen der Pflanzen geeignete Bodenbeschaffenheit hervorbringt.

Diese mittelbare Wirkung des Kalkes auf die Bodenfruchtbarkeit ist teils chemischer Art, teils betrifft sie die physikalischen Eigenschaften des Bodens, teils die biologische Beschaffenheit; das sind Wirkungen, welche ihre Bedeutung für das Pflanzenwachstum ohne weiteres hervortreten lassen und die Schlußfolgerung nahelegen, daß

der Kalk für diese mittelbaren oder indirekten Wirkungen in einem Boden in vielen Fällen für das Gedeihen der Pflanzen wichtiger ist als die unmittelbar ernährende Wirkung. Es wurde bereits auf die Bindung der bei der Zersetzung der organischen Stoffe im Boden entstehenden Kohlensäure durch Kalk zur Vermeidung einer sauren Reaktion des Bodens hingewiesen. Außer der Kohlensäure können im Boden aus den organischen Stoffen oder durch Wurzelausscheidungen noch Humussäuren und andere organische Säuren oder durch Umsetzungen der zugeführten Kunstdünger Mineralsäuren vorkommen, zu deren Neutralisation Kalk nötig ist. Nachteilige Eisen- und Schwefelverbindungen erfordern Kalk zur Unschädlichmachung. Es ist schon früher gesagt worden, daß der Kalk die Phosphorsäure in eine schwerlösliche Verbindung überführen und so ihre Wirkung herabsetzen kann, daß Ammoniak dadurch aus seinen Verbindungen frei werden kann. Der Kalk übt hier also einen nachteiligen Einfluß aus. Andere chemische Umsetzungen des Kalkes im Boden, die auf Basenaustausch mit Silikatverbindungen hinauslaufen, führen zur Aufschließung von Pflanzennährstoffen und erhöhen so auch die Bodenfruchtbarkeit. Diese Umsetzungen spielen schon durch ihre Beeinflussung der kolloidalen Eigenschaften des Bodens auf das physikalische Gebiet über. Dadurch wird die Struktur des Bodens gelockert, was besonders für die Lehm- und Tonböden eine Verbesserung ihrer physikalischen Beschaffenheit bedeutet. Der Boden wird krümeliger und damit für Wasser, Luft und Wärme durchlässiger. Damit ist von selbst gegeben, daß der Kalk ein wirksames Mittel gegen die den Boden verkrustende Wirkung chloridreicher Kalisalze ist.

Von ganz besonderer Bedeutung ist die Kalkdüngung für die biologische Bodenbeschaffenheit, welche in erster Linie mit von der Zufuhr zersetzungsfähiger organischer Stoffe und von der richtigen Leitung der Zersetzung dieser Stoffe abhängig ist. Diese Zersetzung wird durch Bakterien verursacht. Für das Wachstum und das Wirken dieser Bakterien wird durch den Kalk die richtige Grundlage im Boden geschaffen. Eine gute Bodengare, die Grundlage jeder Bodenfruchtbarkeit, und der Aufschluß der mineralischen Bodennährstoffe ist die Folge dieser Arbeit der Bakterien. Darum ist wichtig, daß sie genau geregelt und rechtzeitig Ersatz für die verbrauchten organischen Humusstoffe durch Zufuhr von Stallmist und Gründünger geschaffen wird. Es ist schon vorher darauf hingewiesen, daß die bei dieser Zersetzung der organischen Stoffe entstehende Kohlensäure der vorhandenen Kalkmenge angepaßt sein muß, wenn nicht pflanzennachteilige Bodeneigenschaften sich einstellen sollen. Es ist also auch der Verlauf der Zersetzung zu beachten. Im allgemeinen wird in dem humusärmeren, leichteren Boden, der an sich auch lockerer ist, diese zersetzende und darum auch lockernde Wirkung nicht so nötig sein, als in dem an

Humusstoffen reicheren, schwereren Boden. Man wird hier um so mehr darauf achten müssen, daß diese Zersetzung nicht zu schnell und stark verläuft und ein rechtzeitiger Ersatz an organischen Stoffen stattfindet, weil sonst der Wasserhaushalt des Bodens, der von den Humusstoffen sehr beeinflußt wird, gestört werden kann, was bei der großen Bedeutung einer ausreichenden und gleichmäßigen Wasserversorgung der Pflanzen für ein gedeihliches Wachstum äußerst wichtig ist.

Der in diesen humusbildenden Stoffen vorhandene Stickstoff muß, damit er von den Pflanzen aufgenommen werden kann, in Salpetersäure übergeführt werden. Diese Umwandlung des organischen Stickstoffs zunächst in Ammoniak und weiter in Salpetersäure, die sogenannte Nitrifikation des Stickstoffs, ist ebenfalls die Folge der Tätigkeit der Bakterien, welche zu ihrem Gedeihen Kalk im Boden beanspruchen. Dieser Abbau der organischen Stickstoffverbindungen ist von Löhnis in seinen „Vorlesungen über landwirtschaftliche Bakteriologie“ eingehend gewürdigt worden; ich möchte an dieser Stelle darauf verweisen.

Die unmittelbare Mitarbeit der Bakterien und Pilze bei der Zersetzung der anorganischen Bodenbestandteile tritt zurück. In der Hauptsache handelt es sich dabei um die Freilegung der in organischer Bindung vorhandenen Mineralstoffe, besonders auch der Phosphatverbindungen, die dadurch wieder nach und nach für die Pflanzenernährung nutzbar werden; dagegen dürften die Mikroben bei der eigentlichen Verwitterung des bodenbildenden Gesteins nur in geringem Grade mitwirken.

Wenngleich der Kalk allgemein von ganz wesentlicher Bedeutung für den Verlauf und besonders dabei auch für die Beschleunigung der Zersetzung der organischen Stoffe ist, so besteht doch ein wesentlicher Unterschied in dem Grad der Wirkung der verschiedenen Kalkformen. Es ist wichtig zu wissen, daß der kohlensaure Kalk langsamer auf diese Zersetzung wirkt. Deshalb wird man diesen Kalk da anwenden, wo eine schnelle und kräftige Zersetzung der Humusstoffe nicht erwünscht ist, also auf dem leichteren, sandigen Boden, der an sich schon humusärmer ist, wodurch von selbst ein sparsames Haushalten damit geboten ist. Anders ist es mit den humusreicheren Böden, bei denen die schnellere Zersetzung der organischen Humusstoffe die Bodenbeschaffenheit nicht nur wenig oder gar nicht stört, sondern in manchen Fällen geradezu erwünscht ist, um eine günstige Bodenbeschaffenheit zu erreichen; hier wird man den gebrannten Kalk bevorzugen. In jedem Falle hat man aber in der Einschränkung der Menge des Kalkdüngers ein Mittel, um die Wirkung auf die Zersetzung der organischen Stoffe zu regeln.

Die Hochmoorböden bedürfen wegen ihrer besonderen Beschaffenheit und der dadurch bedingten Eigenschaften noch weiterer Erörterungen

hinsichtlich ihrer Kalkbedürftigkeit. Ich glaube diesen Verhältnissen dadurch am besten Rechnung zu tragen, wenn ich die Schlußfolgerungen, welche Br. Tacke, der beste Beurteiler unserer Moore, aus seinen Versuchen über die Kalkbedürftigkeit des Hochmoorbodens zieht, hier wörtlich wiedergebe, sie lauten: „Es gibt für alle Nutzgewächse auf Hochmoor eine obere Grenze der Kalkzufuhr, über die hinaus eine Steigerung schädlich wirkt um so stärker, je mehr Kalk zugeführt wird. Die Rückschläge durch stärkere Kalkungen treten nicht immer im ersten Jahre, sicher aber in den späteren Jahren auf. Nach den Ergebnissen zahlloser Feldversuche und Gefäßversuche liegt das Optimum der Kalkzufuhr bei stickstoffzehrenden Halm- oder Hackfrüchten je nach deren Art bei etwa 20 bis 30 dz Kalk (CaO) je ha, bei dauerndem Grünland (Wiesen und Weiden) bei 40—50 dz.

Als Ursachen der ungünstigen Wirkungen zu starker Kalkgaben auf Hochmoor sind bisher folgende festgestellt: a) eine starke Verflachung der Ackerkrume durch den zersetzenden Einfluß des Kalks, die auf dem Hochmoor um so verhängnisvoller ist, da in den nicht gekalkten, stark sauren Boden unter der Krume die Wurzeln der Kulturgewächse nicht eindringen, sodaß alle Nährstoffe, die aus der verflachten Krume in den Untergrund gewaschen werden, für die Pflanzen verloren sind. Aber nicht allein die Ernährung, sondern auch die Wasserversorgung der Gewächse wird durch die Verflachung ihres Wurzelbettes benachteiligt. b) Die Begünstigung der unter Umständen im stark gekalkten Hochmoorboden mit großer Energie verlaufenden Denitrifikationsvorgänge, durch die die aufnehmbaren Stickstoffverbindungen in für die Pflanzenernährung untaugliche Form übergeführt werden."

Die Ergebnisse der weiteren, seit 1916 durchgeführten Kalkdüngungsversuche auf Hochmoorboden bestätigen diese Ergebnisse; Tacke sagt darüber folgendes:

„Insbesondere tritt wiederum die außerordentliche Empfindlichkeit des Hafers gegen stärkere Kalkungen hervor. Andererseits ist nicht zu verkennen, daß bei der Kalkgabe von 20 dz Kalk (CaO) je ha bei ausschließlicher Anwendung von schwefelsaurem Ammoniak als Stickstoffdüngemittel nach einer Reihe von Jahren bei Ackergewächsen, die ein stärkeres Bedürfnis nach Kalk haben als der Hafer oder die, besser gesagt, gegen freie Säuren des Moorbodens empfindlicher sind, eine Nachkalkung erforderlich ist. Bei dauernder Anwendung von Natronsalpeter als Stickstoffdüngemittel, der auf Hochmoorboden den Vorzug vor schwefelsaurem Ammoniak verdient, wird ein Kalkmangel voraussichtlich auch bei stärker kalkbedürftigen Ackergewächsen nicht eintreten, namentlich in Hinblick auf die analytisch festgestellte Anreicherung des Moorbodens mit Kalk bei Verwendung kalkhaltiger Phosphate. Es liegt somit kein Anlaß vor, die Kalkzufuhr auf Hochmoor bei Anwendung

physiologisch basischer Düngemittel über eine 20 dz Branntkalk (CaO) entsprechende Menge zu steigern. Der Kalkempfindlichkeit einzelner Früchte, z. B. des Hafers, wird man durch Anwendung physiologisch sauer wirkender Düngemittel Rechnung tragen können."

b) Das Kalkbedürfnis der Pflanzen.

Die Pflanzen bedürfen schon in ihrer ersten Entwicklungszeit ausreichender Kalkmengen, vor allem um die sich bildenden organischen Säuren, besonders die Oxalsäure, welche das Wachstum der jungen Pflanzen stören würden, zu neutralisieren. Über die Bedeutung des Kalkes für den Aufbau der Pflanzen im allgemeinen ist in der Pflanzenernährungslehre (Bd. I., S. 131) eingehend berichtet, sodaß ich mich hier auf den Hinweis auf diese Ausführungen beschränken kann.

Das Kalkbedürfnis der Pflanzen ist sehr verschieden, wie die bereits früher (S. 78) mitgeteilten Zahlen über die durch eine mittlere Ernte aus dem Boden aufgenommenen Kalkmengen gezeigt haben. Von verschiedenen Seiten sind Zahlen dieser Art bekannt gegeben, welche nicht immer übereinstimmen; aber sie liegen doch alle in derselben Richtung und sagen uns, daß unsere Getreidearten im allgemeinen das geringste Kalkbedürfnis haben, die Leguminosen und darunter besonders die kleeartigen Gewächse, ferner Raps am meisten nach Kalk verlangen; zwischen diesen beiden Pflanzengruppen stehen in ihrem Kalkbedürfnis die Hackfrüchte: Kartoffeln und Rüben. Dieses verschiedene Kalkbedürfnis der Pflanzen ist ähnlich wie bei den anderen Nährstoffen nicht gleichbedeutend mit dem notwendigen Nährstoffersatz, d. h. dem Düngungsbedürfnis, denn hier spielt noch die Fähigkeit der Wurzeln, den Kalk des Bodens für die Ernährung der Pflanzen aufzuschließen, eine besondere Rolle. Das muß bei der Beurteilung der Kalkdüngung der Pflanzen sehr beachtet werden. So kann z. B. die Lupine den Kalk im Boden gut ausnutzen und bedarf deshalb der Zufuhr von Kalk nur im beschränkteren Grade oder auch gar nicht, weil der Kalk das Wachstum der Lupinen schädigen kann. Über die eigentliche Ursache dieser schädlichen Wirkung des Kalkes auf Lupinen herrscht noch keine volle Klarheit. Ob sie in dem angegebenen stärkeren Aufschließungsvermögen der Lupinenwurzeln für den Kalk des Bodens zu suchen ist, indem dadurch für gewöhnlich das Kalkbedürfnis der Pflanzen befriedigt wird und die weitere Zufuhr von Kalk das Nährstoffverhältnis im Boden stört und so das Wachstum gehemmt wird, oder ob durch die Kalkdüngung die Tätigkeit der Knöllchenbakterien beeinträchtigt wird, wie von Seelhorst meint, muß dahin gestellt bleiben; Th. Pfeiffer und seine Mitarbeiter erheben gegen beide Erklärungen auf Grund ihrer Versuche Einwände, ohne sie ganz abzulehnen. Hiltner sieht die Ursache der Erkrankung der Lupinen in Eisenmangel. Andere wieder suchen sie in der Bodenreaktion

oder in der Störung der Phosphorsäureaufnahme durch die Kalkdüngung. Es sind hier noch weitere Untersuchungen nötig; wir dürfen aber festhalten, daß die Lupinen sehr empfindlich gegen Kalkdüngung sind. Dieses gilt in erster Linie für die gelbe Lupine, weniger für die blaublühende Lupine, während nach den Angaben von Edler die weiße Lupine sogar als kalkliebend anzusprechen sein soll.

Ähnlich wie die gelbe Lupine verhalten sich folgende von Ehrenberg als kalkscheu bezeichnete Pflanzen: Serradella, Lein und auch der Weinstock, ferner Spörgel, Sauerampfer, Borstengras, Ginster, Heidekraut; sie vertragen einen größeren Kalkgehalt im Boden nicht.

Bei den Pflanzen, die oben nach ihrer Kalkbedürftigkeit in Gruppen zusammengefaßt waren, zeigen sich in den einzelnen Gruppen wieder Unterschiede in dem Kalkbedarf. Esparsette gilt als die kalkbedürftigste Pflanze; ihr folgen Luzerne und Klee, dann Erbsen, Bohnen, Wicken. Es kann nicht überraschen, daß auch die Wiesen- und Weidepflanzen ein größeres Kalkbedürfnis zeigen, denn darunter sind im allgemeinen die kleeartigen Gewächse in einem höheren Prozentsatz vertreten. Hier ist eine ausreichende Kalkdüngung auch deshalb angebracht, weil sie als Futter für die Tiere dienen, sodaß ein höherer Kalkgehalt der Pflanzen nur erwünscht sein kann. Von den Hackfrüchten verlangen besonders die Rüben reichlich Kalk; aber im Übermaß schadet er. Auch bei der Kartoffel ist eine gute Versorgung mit Kalk angebracht. Es ist aber zu beachten, daß die Schorfigkeit der Kartoffeln nach einer Kalkdüngung sehr oft festgestellt ist. Bekanntlich wird der Schorf allgemein durch Pilze verursacht und der Kartoffelschorf durch Strahlenpilze (Aktinomyces) hervorgerufen. Diese Pilze vertragen Säuren nicht, wohl aber eine alkalische Reaktion, wie sie durch Kalken und Mergeln im Boden hervorgerufen wird. Deshalb ist es erklärlich, daß eine Kalkung die Schorfbildung begünstigen kann. In ähnlicher Weise wirken alle alkalischen Düngemittel in mehr oder minder starkem Grade. Die Kartoffel liebt eine schwachsaure Bodenreaktion; man hat also in der Vermeidung übermäßig starker Kalkdüngungen das sicherste Mittel zur Vermeidung des Kartoffelschorfs. Ob letzterer im ersten oder zweiten Jahre nach der Kalkung oder noch später eintritt, wird wesentlich von der Reaktion des Bodens abhängen.

Bei den Getreidearten tritt das Kalkbedürfnis vor allem bei Roggen zurück, Gerste und Weizen verlangen besonders Kalk.

c) Wirkung der verschiedenen Kalkdünger

Es ist schon oben auf die geringere Wirkung des Kalksilikates und Kalkhumates im Vergleich mit kohlensaurem Kalk hingewiesen. Erstere beiden Kalkverbindungen kommen als Dünger nicht in Frage. Zu Düngezwecken dienen neben dem kohlensauren Kalk noch der ge-

brannte Kalk oder Ätzkalk und der schwefelsaure Kalk, soweit es sich um die eigentlichen Kalkdünger handelt; es bleiben an dieser Stelle diejenigen Dünger unberücksichtigt, die wegen eines anderen Nährstoffes angewendet werden, wie Kalknitrat, Thomasmehl usw., in denen der Kalk als nützlicher Nebenbestandteil angesehen wird. Neben Kalkgehalt und Feinheitsgrad des Düngers entscheidet in der Hauptsache die Bindungsform des Kalkes über den Wirkungswert. Je besser der Kalk im Boden verteilt ist und je schneller er in Lösung geht, desto besser ist seine Wirkung. Die Lösung des kohlensauren Kalkes erfolgt durch die Aufnahme von Kohlensäure, wobei sich der in Wasser lösliche doppeltkohlensaure Kalk bildet. Der gebrannte Kalk zerfällt durch Einwirkung von Wasser, das sogenannte Löschen des Kalkes; es bildet sich Kalkhydrat, welches durch Aufnahme von Kohlensäure weiter in kohlensauren Kalk übergeht. Der Kalk ist so fein zerteilt, wie es auf mechanischem Wege kaum erreichbar ist, wodurch seine sichere und starke Wirkung vor allem auch auf die physikalische Bodenbeschaffenheit, auf den Wasserhaushalt des Bodens u. s. f. begründet ist. Versuche von Blanck zeigen diesen verschiedenen Einfluß der Kalkdünger auf das Verhalten des Wassers im Boden. Der schwefelsaure Kalk steht in seiner Wirkung dem Kalkkarbonat und dem Ätzkalk sehr nach; eine unmittelbare Wirkung ist nur zu erwarten, soweit Kalksulfat in Wasser löslich ist, und diese Löslichkeit ist sehr gering. Im übrigen muß das Kalksulfat sich erst im Boden zersetzen, dabei besteht dann immer noch die vielleicht nicht große Gefahr, daß Schwefelsäure frei wird, welche auf Boden und Pflanzen ungünstig wirkt; die mittelbare Wirkung des Kalksulfates auf die Bodenbeschaffenheit kann nicht wesentlich sein, wenn man von der aufschließenden Wirkung der frei gewordenen Schwefelsäure auf die Bodenbestandteile absieht. Hiernach kann man sagen, daß in der Gesamtwirkung des Kalkes, also sowohl in der direkten wie in der indirekten Wirkung auf Pflanzen und Boden der gebrannte Kalk an erster Stelle steht, ihm bald der kohlensaure Kalk folgt und der schwefelsaure Kalk die letzte Stelle einnimmt.

d) Die Wirkung des Kalkes auf die Ausnutzung anderer Pflanzennährstoffe

Auf die Beeinflussung der Stickstoffumsetzung im Boden durch Kalk ist schon hingewiesen (S. 188). Ebenso wurde bereits über das Kalk-Kali-Gesetz Ehrenbergs berichtet (S. 173), durch welches die Einwirkung des Kalkes auf die Kaliaufnahme dargelegt werden soll, und schließlich auch der Einfluß des Kalkes auf die Löslichkeit und Aufnahme der Phosphorsäure erörtert, welcher zu der Aufstellung des Kalk-Phosphorsäurefaktors von M. v. Wrangell (S. 146) Veranlassung gegeben hat. Hier bleibt noch der Kalk-Magnesiafaktor von Loew zu besprechen. Die Bedeutung der Magnesia für das Pflanzenwachstum

wird niemand bezweifeln. Seitdem Willstätter das Magnesium als Bestandteil des Chlorophylls erkannt hat, (Bd. I, S. 25, 136), wird auch dem Magnesium als Pflanzennährstoff mehr Beachtung geschenkt. Dazu hat weiter auch beigetragen, daß Loew durch seine Untersuchung feststellte, daß zum Gedeihen der Pflanzen nicht nur Magnesium nötig sei, sondern die Magnesia zum Kalk in einem bestimmten Verhältnis stehen muß. Für eine gedeihliche Entwicklung des Getreides soll Kalk und Magnesia im Verhältnis von 1 : 1, bei Leguminosen im Verhältnis von 3 : 1 stehen; dieses Verhältnis, welches den Kalk-Magnesiafaktor angibt, ist nach O. Loew für die einzelnen Pflanzenarten verschieden. Die Ansicht Loews hat starken Widerspruch erfahren. Dabei ist die Bedeutung des Magnesiums für den Aufbau des Pflanzenkörpers nicht bestritten worden. Auch ist zum Teil der Auffassung beigepflichtet, daß beim Wachstum der Pflanzen zwischen Kalzium und Magnesium in der Nahrung ein bestimmtes Verhältnis zur Erzielung von Höchsterträgen nötig ist; jedoch werden dabei die von Loew aufgestellten Verhältniszahlen nicht als zutreffend anerkannt, indem darauf hingewiesen wird, daß wir heute noch zu wenig über den Gehalt der Böden an assimilierbaren Nährstoffen unterrichtet sind, um solche Verhältniszahlen aufstellen zu können. Diese Auffassung Lemmermanns findet ihre Bestätigung in eigenen Versuchen und in Versuchen von Pfeiffer, Rippel, Haselhoff, Gössel, Tacke, Meyer u. a. m. Nach diesen Versuchen sind Höchsterträge nicht immer an ein bestimmtes Verhältnis von Kalk : Magnesia gebunden. Im allgemeinen wird man mit einem Mangel an Magnesium in der Pflanzennahrung nicht zu rechnen brauchen, weil einmal der Boden in vielen Fällen von Natur aus ausreichende Mengen Magnesium für die Pflanzenernährung enthält, dann aber auch besonders durch die Kalirohsalze dem Boden Magnesium zugeführt wird. Wenn es auch möglich sein mag, daß Kalk und Magnesia sich bei der Pflanzenernährung in einem gewissen Grade vertreten können, sodaß auch bei Kalkmangel die Magnesia an die Stelle des Kalkes treten kann, so wird man doch bei Berücksichtigung dieses Gesichtspunktes der besonderen Zuführung der Magnesia zum Boden durch die Düngung nicht zustimmen können; der Kalk wird hierbei immer die erste Stelle einnehmen.

e) Gewinnung kalkhaltiger Düngemittel

Der Kalk, welcher dem Boden durch die Wirtschaftsdünger zugeführt wird, also durch Stallmist, Gründünger, Kompost, reicht nicht aus, um den für Boden und Pflanzen nötigen Bedarf zu decken; vor allem wird er dabei für die erforderlichen Wirkungen auf die Bodenbeschaffenheit fehlen. Es müssen also noch besondere Kalkdünger verwendet werden, die teils besonders für die Kalkdüngung hergestellt, teils als Abfälle anderer Fabrikationen gewonnen werden.

Das Ausgangsmaterial für die Gewinnung kalkhaltiger Düngemittel ist von wenigen Ausnahmen, wie z. B. Gips abgesehen, der natürliche Kalkstein, welcher den Kalk in Form von kohlensaurem Kalk enthält. Er wird gemahlen und kommt als:

Gemahlener kohlensaurer Kalk oder Kalksteinmehl in den Handel. Abgesehen von geringen natürlichen Beimengungen wie Sand soll dieses gemahlene Kalksteinmehl aus kohlensaurem Kalk bestehen und in guten Sorten 95—97% enthalten. Zu diesen Kalksteinmehlen zählt auch der Kalzit, der 98% kohlensauren Kalk enthält. Neben Kalk können größere Mengen Magnesia vorhanden sein, es kann also ein dolomitischer Kalkstein vorliegen, der ebenfalls zu Düngezwecken geeignet ist. Wenn der kohlensaure Kalk größere Mengen von Sand und Ton enthält, nennt man ihn Mergel. Der Gehalt des Mergels an kohlensaurem Kalk ist sehr verschieden; seine wirtschaftliche Verwendbarkeit hängt sehr von dem Kalkgehalt ab, da die Kosten für Fracht und Ausstreuen für die Kalkeinheit um so größer sind, je geringer der Kalkgehalt ist. Auch in den Mergeln kommt mehr oder weniger Magnesia vor. Je nachdem Sand und Ton im Mergel vorwiegen, unterscheidet man Sandmergel und Tonmergel. Letzterer kommt in Norddeutschland als Geschiebe- und Kreidemergel vor; er enthält bisweilen den für das Pflanzenwachstum schädlichen Schwefelkies und darf dann erst nach längerem Lagern an der Luft verwendet werden, damit der Schwefelkies sich zersetzen kann. An sich ist ein Lagern des Mergels und besonders des Tonmergels an der Luft angebracht, damit der Mergel gut zerfällt und sich gleichmäßiger verteilen läßt.

Gebrannter Kalk, Branntkalk: Durch Erhitzen des Kalksteins auf 700—800° wird die Kohlensäure ausgetrieben; man erhält den gebrannten Kalk, in welchem der Kalk als Kalziumoxyd vorhanden ist. Der gebrannte Kalk nimmt leicht Wasser und Kohlensäure aus der Luft auf und gibt dabei zunächst Kalkhydrat und nachher Kalkkarbonat in sehr fein verteilter Form. Diese Aufnahme von Wasser, die man durch Zusatz von Wasser zum gebrannten Kalk beschleunigt, nennt man das Löschen des Kalkes und den dabei erhaltenen Kalk:

Gelöschten Kalk oder Löschkalk. Dieses Löschen des Kalkes ist bei der Verwendung des Kalkes zu Düngezwecken da nötig, wo der gebrannte Kalk als Stückkalk vorliegt. Es ist dabei darauf zu achten, daß nicht zu große Mengen Wasser zum Löschen des Kalkes verwendet werden, weil sonst ein Kalkbrei entsteht, der sich schlecht verteilen läßt und darum für die Düngung wenig geeignet ist.

Außer als Stückkalk kommt der Branntkalk auch in gemahlener Form vor; der gemahlene gebrannte Kalk oder Branntkalkmehl läßt sich ohne vorheriges Löschen gleichmäßig ausstreuen. Beachtlich ist dabei, daß infolge der leichten Aufnahme von Wasser und Kohlensäure,

die bei ungünstiger feuchter Witterung erheblich sein kann, der Kalkgehalt entsprechend sinkt.

Der Löschprozeß des gebrannten Kalkes verläuft um so schneller und vollständiger, je höher der Kalkgehalt ist. Nach den Angaben von J. König besitzt der Kalk bei mehr als 2% hydratischer Kieselsäure hydraulische Eigenschaften; ein solcher Kalk löscht sich schwer und ist daher nur in gemahlenem Zustande für Düngungszwecke brauchbar. Es ergibt sich daraus, daß sich bei dem nur langsam löschbaren Kalk im Boden die Umwandlung in Karbonat ganz allmählich vollzieht und dann die Möglichkeit der Bindung mit der Kieselsäure des Bodens zu harten Klumpen von kieselsaurem Kalk vorliegt, welche die Wirkung des Kalkes hemmt. Auch wenn der Branntkalk auf feuchten Boden kommt, sodaß er eine schmierige Beschaffenheit erhält, durch welche die Aufnahme der Kohlensäure erschwert wird, liegt diese Gefahr vor. Zwar hat Immendorff durch seine Versuche nachgewiesen, daß diese Bildung von kieselsaurem Kalk eine verkrustende Wirkung auf den Boden nicht ausübt und darum der Gehalt an hydratischer Kieselsäure als solcher die Brauchbarkeit eines solchen Kalkes zu Düngezwecken nicht herabsetzt, jedoch erscheinen mir die hervorgehobenen Umsetzungen dieser Kalke im Boden doch so beachtenswert, daß man sie bei der Beurteilung dieser Kalke nicht außer acht lassen kann. Daran ist jedenfalls nicht zu zweifeln, daß mit dem Gehalt des Kalkes an derartigen Beimengungen der wertbestimmende Kalkgehalt sinkt und weiter der gebildete kieselsaure Kalk dem kohlensauren Kalk in der Wirkung nachsteht. Auch Immendorff macht die Einschränkung, daß zementartige Verhärtungen durch die lösliche Kieselsäure solcher Düngekalke im Boden ausgeschlossen sind, „wenn der Kalk in regelrechter Weise ausgestreut und bei einigermaßen günstiger Witterung mit dem Boden gut durchmischt wird." Dabei mag dahingestellt bleiben, ob nicht die von König mit 2% Kieselsäure angegebene Grenze zu eng gezogen ist.

Graukalk entsteht beim Brennen dolomitischer Kalksteine. Er ist unter Berücksichtigung des Gehaltes an Magnesia wie gebrannter Kalk zu beurteilen.

Für die Bewertung dieser Kalke als Düngekalke ist neben der Zusammensetzung und insbesondere dem Kalkgehalt ihr Feinheitsgrad von ausschlaggebender Bedeutung, da hierdurch ihre Wirkung bestimmt wird. Über den Feinheitsgrad sind von dem Verband der landwirtschaftlichen Versuchsstationen i. D. R. mit den Vertretern der Kalkindustrie und des Kalkhandels Vereinbarungen getroffen, welche folgendes festsetzen: „Vom Mergel sollen 80% durch ein Sieb von 0,75 mm (D. I. N.-Sieb Nr. 8), der Rest durch ein Sieb von 2 mm Durchmesser (D. I. N.-Sieb Nr. 3) gehen. Bei Feinmergel und gelöschtem gebrannten Kalk (Kalkhydrat) gelten 80% Durchgang durch ein Sieb

von 0,30 mm (D. I. N.-Sieb Nr. 20) und der Rest durch ein Sieb von 1 mm Durchmesser (D. I. N.-Sieb Nr. 6) als Bedingung. Bei ungenügender Feinheit werden zwei Teile fehlenden Feinmehles gleich einem Teil Kalk bezw. kohlensaurem Kalk gesetzt; der 1 bezw. 2 mm übersteigende Teil des Siebrückstandes wird vom Feinmehl abgezogen. Für alle Kalkdünger gilt bei Mindergehalt ein Spielraum von 5% Kalk bezw. bei Mergeln von 5% kohlensaurem Kalk, bezogen auf die Substanz. Bei Überschreitung des Spielraumes wird der ganze Fehlbetrag vergütet." Diese Bestimmungen für Mergel gelten auch für gemahlenen Kalkstein. Für gemahlenen Branntkalk sind solche Bestimmungen nicht getroffen, weil gröbere Kalkstückchen beim Löschen zerfallen und besondere Vorschriften für den Feinheitsgrad Einrichtungen erforderlich machen würden, welche wegen der notwendigen Entstäubungsanlagen sehr kostspielig wären und dadurch den Kalk sehr verteuern würden.

Präparierter Kalk, ein Gemisch von gemahlenem kohlensaurem und gemahlenem gebranntem Kalk, besser Mischkalk genannt, dürfte ähnlichen Verkaufsbedingungen zu unterwerfen sein.

Wiesenkalk ist besonders zu nennen. Er ist ein kohlensaurer Kalk, der unter dem Moor abgelagert ist. Wegen etwa vorhandenen Eisenoxyduls ist die Lagerung an der Luft zur Oxydation desselben vor der Verwendung nötig.

Schwefelsaurer Kalk oder Gips ist bereits vorher als Kalkdünger besprochen worden; seine Bedeutung tritt erheblich zurück. Gips kommt heute selbst für die Pflanzen, bei deren Düngung er früher vorzugsweise Verwendung gefunden hat, für Klee und Luzerne nur noch wenig in Betracht. Für die Wirkung und Anwendung ist wichtig, worauf besonders O. Nolte hingewiesen hat, daß Gips mit einem physiologischsauren Dünger verabreicht, ungünstig wirkt, weil er die saure Reaktion verstärkt, daß er aber zusammen mit einem physiologischalkalischen Dünger günstig wirkt, weil er die alkalische Reaktion aufheben kann. Damit ist auch die Erklärung für die günstige Wirkung von Gips auf Lupinen gegeben, die Heinrich festgestellt hat.

Die Abfälle verschiedener Fabrikationen, welche als Kalkdünger Verwendung finden können, sind von sehr wechselnder Zusammensetzung; es mögen davon folgende hier Erwähnung finden:

Kalkasche ist der Rückstand, der beim Brennen des Kalksteins abfällt. Die Kalkasche enthält Reste des Brennmaterials, erdige Teile und in der Hauptsache Branntkalk in kleinstückiger oder mehliger Form. Der Gehalt an Kalk ist sehr verschieden. Es ist dabei auch zu beachten, daß der Kalk zum Teil als kohlensaurer Kalk vorhanden ist. Der Feuchtigkeitsgehalt kann erheblich sein. Gegen die Verwendung als Düngekalk ist nichts zu sagen, wenn die Kalkasche in feinem Zustande geliefert wird und der Preis dem Kalkgehalt angepaßt ist.

Scheideschlamm der Zuckerfabriken. Der bei der Saturierung der Zuckersäfte erhaltene Kalk wird durch Zuführung von Kohlensäure zum größten Teil in kohlensauren Kalk übergeführt und dieser Rückstand nach längerem Lagern als Kalkdünger verwendet. Bei diesem Lagern werden etwaige Reste von Ätzkalk durch die Kohlensäure der Luft noch in Karbonat verwandelt und wird auch ein Teil des Wassers verdunstet. Immerhin enthält der Scheideschlamm nach den Untersuchungen von Heinrich noch 30—60% Wasser, sodaß die Verwendung als Dünger auf die nähere Umgebung der Fabrik beschränkt bleiben muß. Neben 15—30% Kalk, dem hauptsächlichsten Wertbestandteil, sind noch geringe Mengen Kali (0,1—0,3%), Phosphorsäure (0,5—1,6%) und Stickstoff (0,1—0,4%) vorhanden. Die organischen Stoffe bieten den Kleinlebewesen reichliche Nahrung, ein beachtenswerter Vorzug des Scheideschlammes.

Leunakalk. Zur Herstellung des schwefelsauren Ammoniaks verwenden die Leunawerke statt Schwefelsäure Gips. Ammoniakgas und Kohlensäure werden mit Gipsbrei zusammengebracht, wobei schwefelsaures Ammoniak und kohlensaurer Kalk entstehen. Nach der Trennung der Ammonsulfatlösung von dem Kalkschlamm wird letzterer getrocknet und dann als Leunakalk in den Handel gebracht. Er enthält rund 70—77% kohlensauren Kalk neben 19—26% Wasser. Der hohe Feuchtigkeitsgehalt begrenzt seine Verwendbarkeit. Für das Pflanzenwachstum nachteilig wirkende Bestandteile sind nicht vorhanden.

Endlaugenkalk. Die Endlaugen der Kalifabriken werden nach dem Vorschlage von E. v. Alten mit gebranntem Kalk vermischt. Infolge der beim Löschen des Kalkes entstehenden Wärme verdampft ein Teil des Wassers. Der ursprünglich als Kalikalk, später als Endlaugenkalk bezeichnete Rückstand enthält sehr verschiedene Wassermengen, nach unseren Untersuchungen 12,8—34,5%. Dementsprechend schwanken auch die Kalkmengen von 29,2—46,7%. Außerdem sind 1,9—6,2% Magnesia, 1,2—1,8% Kali, 0,7—0,9% Natron, 4,7—9,8% Chlor vorhanden. Die Versuche, welche mit dem Endlaugenkalk ausgeführt worden sind, sprechen nicht gegen die Brauchbarkeit als Kalkdünger, obwohl die ungünstige mechanische Beschaffenheit die Verwendung zu Düngezwecken beeinträchtigen und der Chloridgehalt hierbei bedenklich machen könnte. Aber auch hier liegt in dem hohen Wassergehalt ein Hindernis für entferntere Verfrachtungen. Da die Herstellung des Endlaugenkalkes zurzeit kaum die Beseitigung der Kaliendlaugen herbeiführen wird, so ist es nicht wahrscheinlich, daß dieser Endlaugenkalk als Kalkdünger Bedeutung gewinnen wird. Der Herstellung des Endlaugenkalkes entsprechend wird Altenit unter Verwendung von reiner Chlormagnesiumlösung an Stelle von Kaliendlauge gewonnen. Dieser Dünger gleicht in dem Gehalt an Kalk und Magnesia

und in seiner sonstigen Beschaffenheit dem Endlaugenkalk; die Hersteller sehen seinen Wert besonders in dem Gehalt an Magnesium und in der Bindung des Magnesiums als Hydrat. Nach den heute vorliegenden Untersuchungen haben wir keine Veranlassung, in der Beurteilung der Wirkung der Magnesia einen anderen Standpunkt einzunehmen, wie es vorher geschehen ist, und dementsprechend sind auch diese magnesiahaltigen Kalkdünger zu bewerten. Wenn bei der Preisfestsetzung für diese Dünger hiernach verfahren wird, ist gegen ihre Anwendung nichts zu sagen; im allgemeinen übersteigt aber der Preis den Wert erheblich.

Gaskalk wird bei der Reinigung des Leuchtgases erhalten. Der Kalk ist als Karbonat neben Ätzkalk vorhanden. Der Gaskalk enthält pflanzenschädliche Schwefel- und Rhodanverbindungen. Es ist daher vor seiner Verwendung zu prüfen, ob diese Verbindungen zersetzt sind.

Azetylenkalk. Bei der Bereitung von Azetylengas aus Kalziumkarbid durch Einwirkung von Wasser verbleibt ein Rückstand, welcher nach M. Gerlach bei 49,52% Wasser 40,69% Kalkhydrat und 7,33% kohlensauren Kalk enthält. Neben dem hohen Wassergehalt können auch pflanzenschädliche Azetylenverbindungen seine Brauchbarkeit als Kalkdünger beeinträchtigen.

Sodakalk ist ein Rückstand der Sodafabrikation, der nach den Untersuchungen von Immendorff rund 40,5% Wasser, 6,38% Kalkhydrat, 14,39% kohlensauren Kalk, 18,80% kieselsauren Kalk, 5,12% kohlensaure Magnesia und 3,40% schwefelsauren Kalk enthält.

Rückstände der Pottaschefabrikation enthalten bei 46% Wasser 26,2% Kalk, vorwiegend als Karbonat neben etwas Sulfat und 4,2% Kali.

Klärschlamm: Der getrocknete Schlamm der Absatzbecken städtischer Abwässer kann besonders da so reich an Kalk sein, daß er als Kalkdünger zu verwenden ist, wo Kalk zur Reinigung der Abwässer Verwendung findet. Im übrigen schwankt der Kalkgehalt dieses Abfalles außerordentlich.

f) Anwendung der Kalkdünger

Für die Auswahl des Kalkdüngers ist in erster Linie die Bodenart bestimmend. Wenn es sich um stark humose Moorböden handelt, wo eine starke Zersetzung der organischen Stoffe notwendig ist, wird man den kräftiger wirkenden gebrannten Kalk vorziehen. Gleiches gilt für den schweren Ton- und Lehmboden, dessen physikalische Beschaffenheit eine gute Lockerung notwendig macht, welche am schnellsten und sichersten durch Branntkalk erreicht wird. Anders ist es mit dem leichteren, mehr sandigen Boden, der an sich schon locker ist und deshalb einer Lockerung weniger bedarf; hier wird man sich besser für den langsamer wirkenden kohlensauren Kalk entscheiden und dabei

wieder den tonhaltigen Mergel bevorzugen, weil die tonigen Bestandteile den Boden bindiger machen. Im übrigen spielen bei der Auswahl des Kalkes die Transportkosten eine große Rolle und wird man bei größeren Entfernungen dem gehaltreicheren Branntkalk den Vorzug geben und den Ausgleich in der Wirkung in der Anwendung geringerer Mengen suchen.

Die Menge des Kalkdüngers richtet sich nach dem Kalkgehalt des Bodens und dem Zweck der Kalkung. Im allgemeinen neigt man heute mehr dazu, geringere Mengen Kalkdünger anzuwenden, dafür aber die Kalkung in kürzeren Zwischenräumen zu wiederholen. Es kann erwartet werden, daß dadurch eine gleichmäßigere Wirkung des Kalkes auf den Boden erzielt wird als durch stärkere Kalkdüngungen, die für einen längeren Zeitraum reichen sollen, weil im letzteren Falle im Anfange mit einer sehr intensiven Wirkung des Kalkes gerechnet werden kann, die nachher mehr und mehr abnimmt. Je leichter der Boden ist, desto geringer muß die Kalkmenge sein. Weiter muß sich die Menge des Kalkes nach dem Kalkbedürfnis der Pflanzen richten, worüber schon berichtet wurde.

Für die Wirkung des Kalkes sowohl auf den Boden wie auf die Pflanzen ist die Zeit der Anwendung des Kalkdüngers wichtig. Obwohl die Wirkung des Kalkes vielseitig ist, und sich die Kalkdünger hierin wesentlich von den anderen Düngern unterscheiden, so sind doch die Ansichten über die Anwendungszeit der Kalkdünger einheitlicher und dahingehend, daß der Kalkdünger zeitig vor der Aussaat in den Boden gebracht werden muß; eine Kopfdüngung mit Kalkdünger ist, Wiesen und Weiden ausgenommen, nicht am Platze. Der Grund dafür liegt einmal in der langsamen Wirkung, die vor allem bei der Beeinflussung der physikalischen und auch der biologischen Bodeneigenschaften eine zeitige Vermischung des Kalkdüngers mit dem Boden erfordert, wenn ein Erfolg der Kalkung hierauf sichergestellt werden soll. Ferner aber ist beim Branntkalk die zeitige Anwendung nötig, damit die Keimung der Samen nicht leidet. Am besten ist es, den Kalkdünger schon im Herbst oder Winter in den Boden zu bringen, möglichst flach, damit die Lösung und die Verteilung des Kalkes in den Bodenschichten beschleunigt und eine gleichmäßige Wirkung des Kalkes erreicht wird.

Kohlensaurer Kalk kann zu jeder Zeit in den Boden gebracht werden. Bei gebranntem Kalk, der, als Stückkalk verwendet, vorher gelöscht werden muß, darf beim Ausstreuen, einerlei, ob es sich um gelöschten Stückkalk oder um gemahlenen gebrannten Kalk handelt, der Boden nicht feucht sein, weil sonst zu befürchten ist, daß der Kalk schmiert, mit Bodenteilchen zusammenballt und eine schlechte Wirkung zeigt. Wasserreiche Abfallkalke läßt man am besten durchfrieren, sie zerfallen dann besser und lassen sich gleichmäßiger verteilen.

Auf Weiden und Wiesen muß der Kalk als Kopfdünger gegeben werden. Auch hier ist eine zeitige Anwendung des Kalkdüngers geboten, am besten im Herbste, spätestens aber beim Ausgang des Winters. Wenn Branntkalk Verwendung finden soll, so kann es sich dabei nur um kleinere Mengen handeln. Einfacher ist die Anwendung von kohlensaurem Kalk und hierbei eine Beschränkung der Menge mit Rücksicht auf eine Schädigung der Pflanzen nicht erforderlich. Als besonders wirksam hat sich auf Wiesen und Weiden immer eine kalkreiche Komposterde erwiesen.

7. Düngemittel mit mehreren Pflanzennährstoffen

Die Anwendung der Düngemittel mit mehreren Pflanzennährstoffen ist aus wirtschaftlichen Gründen nicht zu empfehlen. Ich habe schon früher angeführt, daß das Düngungsbedürfnis unserer Böden und das Nährstoffbedürfnis der Pflanzen zu verschieden ist, um mit einer bestimmten Nährstoffmischung allen Verhältnissen oder doch einer größeren Anzahl davon gerecht zu werden. Deshalb muß die Anwendung derartiger Düngemittel mit mehreren Nährstoffen in fast allen Fällen zu einer Verschwendung des einen oder anderen Nährstoffes führen, dessen Menge in der betreffenden Düngermischung dem Bedürfnis von Boden und Pflanzen nicht entspricht. Wenn man heute die Berechtigung der Anwendung solcher fertiger Düngermischung dadurch zu begründen sucht, daß man den Verlust, der dadurch entsteht, gegenüber dem Schaden, welchen das Fehlen des einen oder anderen Nährstoffes verursacht, gering einschätzt, so übersieht man die Nachteile, welche sich bei fortgesetzter Anwendung der Mischdünger einstellen müssen. Höchsterträge sind auf die Dauer nur erreichbar, wenn das Nährstoffverhältnis im Boden dem Bedürfnis der Pflanzen entspricht. Daß letzteres durch Mischdünger nicht zu erreichen ist, hat der Vorstand des Verbandes landwirtschaftlicher Versuchsstationen in einer Erklärung zum Ausdruck gebracht, in der er sagt, daß „bei Anwendung von Mischdüngern, in denen verschiedene Nährstoffe miteinander verknüpft sind, die Gefahr vorhanden ist, daß durch ihre Anwendung einem Boden auch solche Nährstoffe zugeführt werden, deren er nach seinem Düngerzustande nicht bedarf“, und hervorhebt, daß es nach wie vor richtig ist, „die Böden entsprechend ihrem Nährstoffbedürfnis mit den einzelnen, ihnen fehlenden Nährstoffen zu düngen.“ Wer anders verfährt, setzt sich mit den wissenschaftlichen Grundlagen der Pflanzenernährung in Widerspruch und verfährt nicht wirtschaftlich (vergl. auch S. 110).

Bei den Düngemitteln mit mehreren Nährstoffen müssen wir unterscheiden zwischen solchen, die ursprünglich nach ihrer Herkunft und ihrer Gewinnung bereits mehrere Pflanzennährstoffe enthalten, also

unvermischt sind, und solchen, die durch Vermischen verschiedener Stoffe künstlich erhalten werden. Während man der Verwendung der ersteren insofern eine Berechtigung nicht absprechen kann, als es sich dabei um die Verwendung nutzbringender Abfälle handelt, die man nicht verloren gehen lassen will, handelt es sich bei der zweiten Gruppe dieser Dünger um künstliche Gemische solcher Stoffe, welche für sich als Dünger Anwendung finden können.

a) Unvermischte Düngemittel

Knochenmehl. Der Verband landwirtschaftlicher Versuchsstationen i. d. R. hat die Frage, was als Knochenmehl bezeichnet werden soll, wie folgt beantwortet: „Als Knochenmehl soll nur dasjenige Düngemittel bezeichnet werden, das aus fabrikmäßig gereinigten Knochen ohne Zusatz von fremden stickstoff- und phosphorsäurehaltigen Stoffen hergestellt ist. Unter fabrikmäßiger Reinigung ist das Auslesen der Hufe, Klauen, Hörner und der Beimengungen nichttierischen Ursprungs zu verstehen." Die gereinigten Knochen werden durch Brechen, Stampfen und Mahlen zerkleinert. Das so erhaltene rohe Knochenmehl enthält 3—5% Stickstoff und 18—24% Phosphorsäure. Da es sehr fetthaltig ist, wirken die darin vorhandenen Nährstoffe nicht besonders. Es kommt kaum im Handel vor. Durch Ausziehen mit chemischen Mitteln (Benzin, Benzol, Tetrachlorkohlenstoff usw.) und Dämpfen erhält man das sogenannte Normalknochenmehl mit 4,5—5,0% Stickstoff und 20—23% Phosphorsäure. In diesem unentleimten Knochenmehl wird durch die Zersetzung der Leimsubstanz ein guter Aufschluß der Phosphorsäure erreicht. Wird bei der Leimfabrikation den Knochen der Leim entzogen, so erhalten wir das entleimte Knochenmehl mit 1,0—1,5% Stickstoff und 27—30% Phosphorsäure, dessen Phosphorsäure in der Wirkung hinter dem Normalknochenmehl zurückbleiben muß, weil der Aufschluß der Phosphorsäure sich langsamer vollzieht. Abfälle bei dieser Verarbeitung der Knochen sind haut- und hornartige Stoffe, Haare, Fleischteile usw., welche zum Teil dem Knochenmehl wieder zugesetzt werden oder als Trommel- und Putzmehl Verwendung finden.

Nach den ausgeführten Versuchen äußert der Stickstoff des Knochenmehles eine Wirkung von etwa 55—60% derjenigen des Salpeterstickstoffes. Der Düngewert der Phosphorsäure wird durch Bodenbeschaffenheit und Witterung stark beeinflußt. Er ist auf kalkarmem Sandboden am günstigsten und auf kalkreicheren Böden am schlechtesten. Der ungünstige Einfluß des Kalkes auf die Wirkung der Knochenmehlphosphorsäure ist durch die Versuche von Kellner, Böttcher, Haselhoff erwiesen. Damit war auch die Erklärung für die Ergebnisse Märckers und Wagners über die schlechte Wirkung der Knochenmehlphosphorsäure gegeben. Man kann die Wirkung der Knochenphosphorsäure mit 60

bis 70% derjenigen der wasserlöslichen Phosphorsäure annehmen, bei kalkarmen Böden auch etwas höher. Durch Vegetationsversuche konnte Haselhoff zeigen, daß durch das Vermischen des Knochenmehles mit Kainit die Ausnutzung und Wirkung der Phosphorsäure im Knochenmehl erhöht wurde.

Dem Knochenmehl stehen in der Wirkung Fleischknochenmehl (6—7% Stickstoff und 10—15% Phosphorsäure), Kadavermehl (4 bis 8% Stickstoff und 6—12% Phosphorsäure), Fischguano (6—8% Stickstoff und 12—14% Phosphorsäure) und ähnliche Abfälle nahe; die Zusammensetzung ist verschieden und schwankend. Für die Wirkung der Nährstoffe aller dieser Abfälle ist wichtig, daß diese Stoffe sehr zeitig vor der Aussaat in den Boden gebracht werden, damit sie sich gut zersetzen können. Dazu trägt viel ihre feine Mahlung bei. Diese Abfälle stehen für Düngezwecke nicht in erheblichen Mengen zur Verfügung.

Lützeler Fleischguano wird aus entleimten und entfetteten Fleisch- und Knochenabfällen durch Behandeln mit Salzsäure oder Schwefelsäure hergestellt; er enthält durchschnittlich 2—3% Stickstoff und 1 bis 3% Phosphorsäure. Die Wirkung dieser Nährstoffe steht derjenigen des Stickstoffs und der Phosphorsäure im Knochenmehl nahe. Dieser Dünger hat keine große wirtschaftliche Bedeutung.

Ungarischer Rinderguano sind die getrockneten Exkremente mit 3% Stickstoff, 4% Phosphorsäure und 1,5% Kali. Die Wirkung ist gering.

Poudrette besteht aus den getrockneten Abortstoffen und enthält 7% Stickstoff, 2,5% Phosphorsäure, 2,5% Kali. Die Wirkung ist günstig.

Klärschlamm ist der getrocknete Schlamm in den Absatzbecken städtischer Abwässer, oft mit anderen Abfällen durchsetzt. Der Nährstoffgehalt schwankt sehr, ist aber in der Regel so gering, daß sich für den Klärschlamm kaum ein Geldwert errechnen läßt.

Rohguano ist aus den Auswurfstoffen und Leichen von Seevögeln entstanden. Da die Seevögel hauptsächlich von Fischen leben, ist ihr zum Teil erheblicher Gehalt an Stickstoff und Phosphorsäure erklärlich. Regenmangel und starke Hitze an den Ablagerungsstätten auf den Inseln des südamerikanischen Ozeans führen zu einem schnellen Trocknen, sodaß eine nennenswerte Zersetzung der Rückstände nicht eintreten kann. Untersuchungen von neuerdings eingeführtem Rohguano verschiedener Herkunft ergeben:

Wasser	4,67—11,14%
Gesamtstickstoff . .	1,16—13,36 „
Gesamtphosphorsäure	12,28—37,36 „
davon wasserlöslich .	0,74— 3,38 „

Daneben sind noch geringe Mengen Kali und vor allem auch größere Mengen organischer Stoffe vorhanden, welche den Rohguano als durchaus schätzenswerten Dünger beurteilen lassen.

Die günstige Beurteilung des Düngerwertes dieser Guanosorten hat Veranlassung gegeben, daß verschiedenartige und minderwertige Abfälle als Guano bezeichnet wurden; dieses ist unzulässig.

Aufgeschlossener Peruguano. Die Phosphorsäure im Rohguano ist größtenteils wasserunlöslich. Infolgedessen ging man dazu über, den Rohguano ähnlich wie bei der Superphosphatfabrikation mit Schwefelsäure aufzuschließen. Um Dünger von gleichmäßiger Zusammensetzung in den Handel bringen zu können, wurde nötigenfalls schwefelsaures Ammoniak zum Ausgleich des fehlenden Stickstoffs beigemischt. Der so erhaltene aufgeschlossene Peruguano gehört damit auch zu den Mischdüngern. Er enthält den Stickstoff im wesentlichen als Ammoniakstickstoff und die Phosphorsäure in wasserlöslicher Form, unterscheidet sich also in der Form seiner Nährstoffe und in der Wirkung dieser Nährstoffe nicht von dem Ammoniaksuperphosphat, vor dem er nur durch den Kaligehalt bevorzugt ist.

b) Mischdünger

Hierher gehört mit dem zuletzt genannten aufgeschlossenen Peruguano das schon seit langer Zeit verwendete

Ammoniaksuperphosphat, ein Gemisch aus Superphosphat und schwefelsaurem Ammoniak, das neuerdings auch zum Teil durch salzsaures Ammoniak ersetzt wird; ferner Salpetersuperphosphat aus Superphosphat und Salpeter, Kalisuperphosphat aus Superphosphat und Kaliumsulfat oder Chlorkalium, Knochenmehlsuperphosphat aus Superphosphat und Knochenmehl. Während Ammoniaksuperphosphat allgemein als Dünger eingeführt ist, handelt es sich bei den anderen Düngern um solche von mehr örtlicher Bedeutung.

Die ungünstigen Eigenschaften des Ammoniaksalpeters, insbesondere seine leichte Explosionsfähigkeit haben zur Beimischung verschiedener Stoffe geführt, durch welche diese Gefahr wenigstens gemildert werden sollte; man hat dabei erhalten:

Kaliammonsalpeter durch Zusatz von Chlorkalium mit 16% Stickstoff (je zur Hälfte als Ammoniak- und Salpeterstickstoff) und 25% Kali. Bei dem ungünstigen für wenige Pflanzen passenden Mischungsverhältnis ist eine sichere Ausnutzung der Nährstoffe nicht gewährleistet. Das Kali muß mit dem Preise des Chlorkaliums bezahlt werden; in 25%igem Kalisalz ist es für den Verbraucher billiger zu kaufen.

Natronammonsalpeter, in welchem Natriumsulfat zugemischt war, Gipsammonsalpeter und Knochenmehlammonsalpeter mit Gips bezw. Knochenmehl als Zusatz haben im Handel keinen Eingang

gefunden. Hier sei auch erwähnt, daß Leunasalpeter zu den Mischungen gehört, da er, wie schon früher angegeben ist, durch Mischen von Ammoniaksalpeter und schwefelsaurem Ammoniak entstanden ist; da er nur Stickstoff als Pflanzennährstoff enthält, so trifft für ihn die Bewertung als Mischdünger nicht zu, vielmehr ist er als Stickstoffdünger zu bewerten und seine Anwendung zu empfehlen.

Andere Mischdünger wurden hergestellt durch Vermischen von Diammoniumphosphat (Diammonphos), welches durch Sättigen einer Phosphorsäurelösung mit Ammoniak erhalten wird und einen Gehalt von 19% Stickstoff (Ammoniak) und 44% Phosphorsäure (wasserlöslich) hat, mit schwefelsaurem Ammoniak: Leunaphos und mit Harnstoff: Ureaphos. Diese Dünger haben auf dem heimischen Markt keinen Eingang gefunden.

Mit Nitrophoska, das aus Diammoniumphosphat, Ammonnitrat und Chlorkalium erhalten wird, soll ein sogenannter Volldünger, der die drei hauptsächlichsten Nährstoffe: Stickstoff, Phosphorsäure und Kali enthält, geliefert werden. Die Nährstoffe sollen in einem Verhältnis vorhanden sein, welches dem Bedürfnis der Pflanzen entspricht. Letzteres wird nicht erreicht, vor allem deshalb nicht, weil der Nährstoffvorrat des Bodens nicht überall derselbe ist und daher eine Mischung selbst für dieselben Pflanzen nicht genügt.

Die Wirkung der Nährstoffe in den genannten Mischdüngern ergibt sich aus den zur Herstellung verwendeten Düngern. Ebenso ist die Anwendung dadurch bestimmt.

Guanol ist ein Gemisch von Melasseschlempe mit Torf als Aufsaugematerial, dem bestimmte Bakterien zur Zersetzung der in der Melasseschlempe vorhandenen organischen Verbindungen (Betaine) zugesetzt werden. Der Dünger enthält 3,4% Stickstoff, 6,4% Kali und wenig Phosphorsäure; für die Beurteilung der Wirkung kommt auch die organische Substanz in Betracht.

Schlickhumat, Schlickphosphat, Schlickstickstoff, auch als Biohumat, Biophosphat, Biostickstoff bezeichnet, sind Mischungen von Schlick mit Torf oder Rohphosphat oder Kalkstickstoff. Diese Mischungen mögen in erster Linie zur Verbesserung der biologischen Beschaffenheit des Bodens dienen sollen; jedoch zeigt die Beimischung von Rohphosphat und Kalkstickstoff, daß man dabei auch mit einer Nährstoffwirkung rechnet. Die Erfolge sind bisher gering gewesen.

Die hier angeführten Mischdünger machen nur einen geringen Teil der hergestellten Düngermischungen aus; ich weise nur auf die vielen Garten- und Blumendünger hin, auf die Komposterdemischungen usw. Es ist hier nicht die Stelle, diese Mischdünger vollständiger anzuführen und erübrigt sich dieses auch nach der im Eingang dieses Abschnitts gegebenen Beurteilung.

8. Reiz- und Stimulationsstoffe

Die Reiz- und Stimulationsstoffe sind nicht Düngemittel im eigentlichen Sinne dieses Wortes; es soll deshalb auch nur in aller Kürze darauf eingegangen werden. Die sogenannten Reizwirkungen auf den pflanzlichen Organismus sind schon lange bekannt. So sagt Pfeffer, „daß durch submaximale Dosen von schädlichen Körpern oft eine transitorische oder dauernde Reaktion verursacht wird, die durch eine Steigerung der Stoffwechseltätigkeit und vielfach auch durch eine Beschleunigung des Wachstums bemerkbar wird", und Czapek findet, daß bei Stoffen, welche bei verschiedener Anwendungsweise sowohl toxische wie nährende Wirkungen ausüben können, wohl Erscheinungen möglich sind, welche die Nährstoffaufnahme beeinflussen und als Reizwirkungen gedeutet werden können. Wenn heute versucht wird, derartigen Wirkungen eine weit größere Bedeutung insofern beizulegen, als man dadurch die Erträge glaubt um ein Vielfaches steigern zu können, so ist dieses auf die von Popoff und Gleisberg veröffentlichten Versuchsergebnisse zurückzuführen. Popoff hat bei seinen Versuchen mit Salzen von Magnesium, Mangan, Kalium, Natrium, Eisen, Quecksilber, Arsen, Blei, Kupfer günstige Stimulationswirkungen auf die Entwicklung der Pflanzensamen festgestellt und sagt, diese Lösungen „haben eine ausgesprochene Affinität zum Sauerstoff, folglich müssen sie desoxydierend auf die lebende Substanz wirken und dadurch die Nachwirkung der Oxydationsprozesse auslösen oder verstärken. Verlängert man die Wirkungsweise der angewandten Lösungen, so kommt, wie zu erwarten, die wachstumshemmende Phase zum Vorschein, um bei noch länger dauernder Einwirkung die Keimkraft der Samen abzutöten". Hiermit findet Popoff den Zusammenhang mit der schon vielfach beobachteten schädlichen Wirkung vieler Stimulationsmittel, auf die auch Czapek aufmerksam macht. Bei dem heutigen Stande der Untersuchungen genügt es, darauf hinzuweisen, daß eine große Anzahl Forscher wie Tacke, Krüger, Lemmermann, Mitscherlich, Haselhoff, Mach, Schander, Popp auf Grund ihrer Versuche den Stimulationsmitteln keinen Einfluß auf den Pflanzenertrag zusprechen können. Ich beschränke mich darauf, das Ergebnis eigener Versuche, wie folgt, wiederzugeben, da sich dieses Urteil mit demjenigen der meisten deutschen Forscher bei dem heutigen Stande unserer Kenntnis der Stimulationswirkungen deckt. Diese Schlußfolgerungen aus unseren Versuchen gehen dahin, daß die verwendeten chemischen Reizstoffe im allgemeinen nicht die das Wachstum der Pflanzen fördernde und den Ertrag steigernde Wirkung ausgeübt haben, welche von anderer Seite festgestellt worden ist. Wenn Popoff bei seinen Versuchen gefunden hat, daß sich durch chemische Einwirkungen

auf Samen Pflanzen erzeugen lassen, welche sich schon im Aussehen durch gesunde, kräftige Entwicklung auszeichnen und um 20%, 30% oder selbst 50% gesteigerte Erträge liefern, so müssen dabei andere Versuchsbedingungen als bei unseren Versuchen vorgelegen haben. Unsere gegenteiligen Versuchsergebnisse müssen zu dem Schluß führen, daß die Versuchsergebnisse Popoffs nicht verallgemeinert werden dürfen. Wir haben keine Veranlassung, auf Grund der Versuche Popoffs und seiner Mitarbeiter der Stimulation der Samen durch chemische Reizmittel eine besondere Bedeutung für die Ertragssteigerung im praktischen Betriebe beizulegen.

Literaturnachweis

Aereboe, F., Neue Düngerwirtschaft ohne Auslandsphosphate (P. Parey, Berlin 1922).

Bornemann, F., Kohlensäure und Pflanzenwachstum (P. Parey, Berlin 1920).

Czapek, Fr., Biochemie der Pflanzen (G. Fischer, Jena 1905).

Ehrenberg, P., Die Bodenkolloide (Th. Steinkopff, Leipzig 1918).

— Die Düngerlehre, 2. Bd. in A. Mayers Lehrbuch der Agrikulturchemie (K. Winters Universitätsbuchhandlung, Heidelberg 1924).

Heuser, O., Grundlagen der Pflanzenernährung (Gebr. Borntraeger, Berlin 1924).

Hoffmann, M., Düngerfibel (D. L. G. 1918).

Honkamp, F. und Nolte, O., Agrikulturchemie in „Wissenschaftliche Forschungsberichte" (Th. Steinkopff, Leipzig 1924).

Kleeberger, W., Grundzüge der Pflanzenernährung und Düngerlehre (M. u. H. Schaper, Hannover 1927).

Kostytschew, S., Pflanzenatmung (J. Springer, Berlin 1924).

Krantz, H. und Schnabl, A., Edelmist. Ergebnisse vergleichender vierjähriger Feldversuche (Sonderschrift: Gärstatt, München).

Kron, O., Eine neue Technik der Mistausnutzung (Sonderschrift: Gärstatt, München).

Lemmermann, O., Die Düngerlehre (M. Schäfer, Leipzig 1902).

Löhnis, F., Handbuch der landw. Bakteriologie (Gebr. Borntraeger, Berlin 1910).

— Vorlesungen über landw. Bakteriologie (Gebr. Borntraeger, Berlin 1927).

Lundegardh, H., Der Kreislauf der Kohlensäure in der Natur (G. Fischer, Jena 1924).

Mevius, W., Reaktion des Bodens und Pflanzenwachstum (F. P. Dattner u. C., Freising-München 1927).

Mitscherlich, E. A., Die Bestimmung des Düngerbedürfnisses des Bodens (P. Parey, Berlin 1924).

— Das Liebigsche Gesetz des Minimums und das Wirkungsgesetz der Wachstumsfaktoren (Sonderabzug aus Leopoldina 1926).

Müller, H. K., Wolffs Düngerlehre (P. Parey, Berlin 1926).

Nolte, O., Der Stallmist und seine Verwendung (D. L. G. 1924).

— Die Gründüngung (D. L. G. 1924).

Ost, H., Lehrbuch der chemischen Technologie (Jänicke, Leipzig 1923).

Pfeffer, W., Pflanzenphysiologie (W. Engelmann, Leipzig 1904).

Prianischnikow, N., Die Düngerlehre, herausgegeben von M. v. Wrangell (P. Parey, Berlin 1923).

Reinau, E., Kohlensäure und Pflanzen (W. Knapp, Halle 1920).

— Praktische Kohlensäuredüngung in Gärtnerei und Landwirtschaft (J. Springer, Berlin 1927).

Rippel, A., Wachstumsgesetze bei höheren und niederen Pflanzen (F. P. Dattner u. Co., Freising-München 1927).

Schneidewind, W., Die Ernährung der landw. Kulturpflanzen (P. Parey, Berlin 1915).

Schröder, H., Die Hypothesen über die chemischen Vorgänge bei der Kohlensäure-Assimilation und ihre Grundlagen (G. Fischer, Jena 1927).

Stocklasa, J. und Doerell, E. G., Handbuch der biophysikalischen und biochemischen Durchforschung des Bodens (P. Parey, Berlin 1926).

Vogel, J. H., Die Verwertung der städtischen Abfallstoffe (D. L. G. 1895).

Weller, K., Der Einfluß der Düngung auf den Ertrag, Güte und sonstige Werteigenschaften der Sommerweizenpflanze (F. u. P. Datterer u. Co., Freising-München 1927).

Wiegner, G., Anleitung zum quantitativen agrikulturchemischen Praktikum (Gebrüder Borntraeger, Berlin 1926).

Arbeiten der Deutschen Landwirtschafts-Gesellschaft Berlin.

Verein Deutscher Düngerfabrikanten, Fabrikation des Superphosphates (F. Vieweg u. Sohn, Braunschweig 1926).

Zeitschriften:

Centralblatt für Bakteriologie (G. Fischer, Jena).
Deutsche landwirtsch. Presse (P. Parey, Berlin).
Fortschritte der Landwirtschaft (J. Springer, Berlin).
Fühlings landw. Zeitung (E. Ulmer, Stuttgart).
Internationale agrar-technische Rundschau.
Journal für Landwirtschaft (P. Parey, Berlin).
Landwirtschaftliche Jahrbücher (P. Parey, Berlin).
Landwirtschaftliche Versuchsstationen (P. Parey, Berlin).
Mitteilungen der Deutschen Landwirtschafts-Gesellschaft, Berlin.
Zeitschrift für angewandte Chemie (Verlag Chemie, Berlin).
Zeitschrift für Pflanzenernährung, Düngung und Bodenkunde (Verlag Chemie, Berlin).

Autorenverzeichnis

Aereboe, F. 150
Alten, E. v. 178, 197

Bäßler, P. 95, 103, 104
Bartel, Chr. 62
Baule, B. 2
Beger 164
Behrens, J. 184
Beijerinck, M. W. 92
Berendt, E. 49
Berju 9
Birkland 121
Blanck, E. 49, 58, 65, 69, 72, 80, 131, 138, 147, 180, 192
Bornemann F. 28, 55
Bosch 123
Boussingault 27
Böttcher 147 201
Bücking 159
Burkheiser 127
Burri 47

Caro 122 127
Caron, A. v. 93
Cavendish 121
Christensen, Harald R. 21
Czapek 205

De Haen 161
Déhérain 47, 60
Dickow, v. 15
Dietrich, Th. 12, 144, 151
Dietzel 44, 47, 61
Dupetit 47
Dyer, B. 9

Ebermayer 27
Edler 191
Ehrenberg, P. 116, 131, 169, 173, 180, 191, 192
Eyde 121

Feilitzen, H. v. 180
Fischer 28
Fittbogen 43
Fleischer, M. 35, 38, 162
Frank 122, 127
Frese H. 9

Gayon 47
Gedroiz 12
Gerdes, H. S. 89
Gerlach, M. 9, 28, 30, 64, 65, 99, 108, 115, 133, 155, 169, 183, 198
Giesecke 138
Gilbert 47
Girard 43
Gleisberg 205
Godlewsky 16, 27
Gössel, F. 134, 193
Graham 157
Greisenegger, J. K. 17

Haber 123
Hager 169, 186
Hall 16
Hammerschlag 89
Hampel 124
Hanamann 16
Hansen J. 43, 61
Haselhoff, E. 130, 132, 133, 134, 138, 141, 144, 148, 150, 151, 155, 160, 164, 166, 167, 169, 171, 176, 179, 183, 193, 201, 205
Hasenbäumer 114, 146
Heiden 63
Heinrich, R. 15, 49, 63, 72, 73, 149, 196, 197
Heller, F. 158
Hellriegel, H. 16, 23, 92, 102, 119, 171
Halmkampf 15
Henneberg, W. 31, 155

Hilgenstock 159
Hiltner, L. 89, 92, 190
Hissinck 12
Hoffmann, M. 51, 52, 101
Holdefleiß, Fr. 41, 43, 52, 61
Holzapfel, E. 146
Honkamp, F. 49, 72

Immendorff, H. 43, 44, 122, 195, 198

Jani 7
Jeffrey 13

Kappen, H. 112, 122, 138, 152
Kellner, O. 11, 12, 133, 147, 150, 201
Kiesow 47
King 13
Kleeberger 80
König, A. 35
König, J. 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 44, 47, 80, 87, 116, 148, 149, 150, 168, 169, 173, 176, 195
Krantz, H. 54
Krause, K. v. 57
Kreußler 27
Kron, O. 54
Krüger, W. 15, 45, 117, 131, 147, 205

Lawes 47
Lemmermann, O. 6, 9, 10, 27, 28, 45, 58, 64, 65, 66, 80, 95, 103, 104, 135, 146, 147, 153, 168, 193, 205
Liebig, J. v. 2, 3, 4, 156
Liebscher 5, 6
Liechti, P. 76
Linde, v. 122
Link 159
Lintner 119
Lippmann, J. G. 44
Löhnis, F. 40, 42, 44, 45, 46, 90, 188
Loew 192
Lundegardh 28

Mach, F. 36, 179, 205
Märcker, M. 6, 52, 61, 62, 69, 95, 168, 170, 173, 201
Malvy 137
Maquenne 47
Maschhaupt 8
Mausberg, A. 131
Mayer, A. 112, 193
Meinhold 15
Meyer, D. 9, 11, 94, 95, 155, 165
Mitscherlich, E. A. 2, 3, 4, 7, 19, 23, 30, 146, 150, 162, 205
Mond, L. 127
Morgen, A. 44
Müller, H. K. 40
Münter 16
Müntz 43

Neubauer, H. 17
Niklas 166
Nobbe, F. 92
Nolte, O. 4, 38, 58, 60, 65, 66, 80, 118, 169, 174, 184, 196

Omeliansky 46
Ortmann 49
Oswald, W. 124
Otto 127

Palmaer, W. 159
Petermann 154
Pettenkofer, v. 27
Pfeffer 205
Pfeiffer, Th. 7, 12, 43, 44, 45, 47, 61, 62, 71, 83, 118, 135, 144, 146, 147, 150, 162, 173, 190, 193
Pikarski, A. 57
Plauson 161
Polzenius 122
Popoff 205
Popp 183, 205
Prianischnikow 150, 162, 168

Ramann 25
Reinau 28, 29
Reitmair 158
Remy, Th. 83, 109, 164, 166, 172, 174, 182, 183
Richthofen, P. v. 70
Riedel 28, 30
Rippel, A. 28, 173, 193
Rippert 65, 89
Rosenberg-Lipinsky 25, 70
Russel, E. J. 4

Salfeld 102
Schander 205
Scharrer, W. 129
Scheffer, F. 186
Scheibler 159
Schiller 51 52
Schlösing 122
Schneider, W. 17

Schneidewind, W. 45, 52, 60, 61, 62, 69, 71, 74, 80, 83, 94, 95, 97, 102, 133, 155, 161, 164, 165, 168, 183
Schönherr 122
Schucht, L. 156, 160
Schulze, B. 51, 71, 83, 91
Schulz-Lupitz 92, 95, 104
Seelhorst, K. v. 17, 24, 103, 118, 190
Smith, A. 47
Smith, J. G. 44
Söderbaum 180
Soxhlet, Fr. v. 48
Stahl-Schröder 15
Stohmann, F. 31
Stoklasa, J. 94, 129, 147
Strobel, A. 129
Stutzer, A. 47, 61, 138

Tacke, Br. 35, 155, 162, 166, 170, 173, 175, 183, 184, 189, 193, 205
Thaer, A. 156
Thiel 171

Ulbricht 7
Ulpiani 138

Vibrans 100
Völcker 41
Vogel, J. H. 44, 58, 85, 178
Vorbuchner, K. 17
Vorhees, E. B. 44

Wagner, P. 16, 19, 47, 65, 69, 71, 73, 74, 80, 83, 116, 134, 152, 155, 175, 181, 182, 184, 201
Wagner, R. 128
Warington 47
Weiske 90
Whitney 13
Wießmann 64, 66, 68, 172
Wilfarth 15, 174
Wille 47
Willstätter 193
Winogradsky 46
Wrangell, M. v. 130, 145, 146, 149, 150, 159, 192
Wolff, E. v. 6, 7, 31, 39, 41
Wolf-Schweinsberg 49
Wollny, E. 27, 90, 131

Sachverzeichnis

Abfälle, stickstoffhaltige 128
Abschlämmbare Bestandteile, des Bodens, Kaligehalt 168
Acetylenkalk 198
Altenit 117
Ammoniaksalpeter, s. Ammonnitrat
Ammoniaksuperphosphat 203
Ammoniumbikarbonat 127, 141
Ammonnitrat Ammonsalpeter 125, 140
Ammonsulfat, s. schwefelsaures Ammoniak
Ammonsulfatsalpeter, s. Leunasalpeter
Arsen 205
Aufbewahrung von Stallmist, Kot und Harn getrennt 48
Aufsaugungsvermögen für Einstreu 37

Beidüngung zu Gründüngung 104
— — Stallmist 76
Biohumat 204
Biologische Bodenbeschaffenheit, Einfluß des Kalkes 187
Biologische Bodenprüfung 21
Biophosphat 204
Biostickstoff 204
Blattentwicklung, Stickstoffwirkung 119
Blei 205
Blumendünger 204
Blutmehl 129, 141
Boden, Ammoniakverdunstung 134
— Kalibedürfnis und Kaliwirkung 167
— Kalkbedürfnis und Kalkwirkung 185
— Phosphorsäurebedürfnis 143
— Stickstoffbedarf 115
— Stickstoffvorrat 116
Bodenbeschaffenheit, Einfluß des Natrons 131
Bodenreaktion, Einfluß der Düngemittel 112
Bodenversauerung 112
Branntkalk 194
Branntkalkmehl 194
Braunkohle, Konservierung von Jauche 64
Braunkohlenasche 179
Brennmaterialien, Asche 179
Brikettasche 179
Burkheisersches Gasreinigungsverfahren 127
— Salz 127, 141

Chilisalpeter 127, 129
Chlor 173
Chlorammonium, s. salzsaures Ammoniak
Chlorkalium 177
Citratlösliche Phosphorsäure 154
Citronensäurelösliche Phosphorsäure 155

Dehaenphosphat 161
Denitrifikation 46
Diammoniumphosphat 204
Diammonphos 204
Dikalziumphosphat 154, 158, 164
Dolomitischer Kalkstein 194
Doppelsuperphosphat 158
Düngemittel, künstliche 105
— natürliche 24
— mit mehreren Nährstoffen 204
Düngung, Grundlagen, 1
Düngungsbedürfnis des Bodens, Feststell. 4
— — — — Verfahren, Greisenegger und Vorbuchner 17
— — — — — König, I., 9, 15
— — — — — Lemmermann, O., 6, 9
— — — — — Mitscherlich, E. A., 7, 19
— — — — — Neubauer, H., 17
— — — — — Wagner, P., 16

Edelphosphat 159
Einstreu 30, 34
— Gerberlohe 37
— Getreidestroh 34
— Heideplaggen 37
— Heidetorf 36
— Kartoffelkraut 37
— Laubstreu 36

Einstreu, Sägemehl 37
— Schilf 37
— Teichschlamm 37
— Torfstreu 35
Eisen 205
Elektrokali 180
Endlauge 178
Endlaugenkalk 179, 197
Entleimtes Knochenmehl 201
Ergänzungsdünger 25
Ernterückstände 90
Erträge, Durchschitts- 106
Exkremente, menschliche 85
— tierische 30

Fäkalguano, Frankfurter 88
Fäkalien 88
Fäkalin 88
Fäkalkompost 88
Feinheitsgrad, Kalkdünger 195
— Thomasmehl 155
Feinmergel 195
Fischguano 202
Fleischguano, Lützeler 202
Fleischknochenmehl 202
Formalin, Konservierung von Jauche 64
Freilandversuche 20

Galalith 129, 142
Gartendünger 204
Gaskalk 198
Gebrannter Kalk 194
Gefäßversuch 19
Germaniaphosphat 160
Gesetz der physiologischen Beziehungen von E. A. Mitscherlich 2
— des Minimums von J. v. Liebig 2
Gestein, kalihaltig 179
Gichtstaub der Hochöfen 181
Gips 61, 191
Gipsammonsalpeter 125, 203
Glühphosphat 160
Graukalk 195
Grubensystem 86
Gründüngung 92
— Anbau als Hauptfrucht 98
— — — Stoppelfrucht 99
— — — Untersaat 100
— Beidüngung 104
— Mineralstoffe 96
— Organische Substanz 93
— Stickstoffwirkung 95
Gründüngung, Unterbringung 102
Guanol 204
Gülleverfahren 58

Harn 32
Harnstoff 125, 140
Harnstoffnitrat 125
Hartsalz 177
Heißvergärungsverfahren 54
Holzasche 179
Hornmehl 129
Humunit 89
Humuskieselsäure 89
Humusstoffe 25

Jauche 30, 56
— Anwendung 67, 81
— Beigabe von Kunstdünger 76
— Konservierung 59, 63
— Wirkungswert 67
Jod in Chilesalpeter 129

Kadavermehl 202
Kainit 177
— als Konservierungsmittel für Stallmist 61
— — — — Jauche 64
— — Unkrautvertilgungsmittel 185
Kaliabsorption 169
Kaliammonsalpeter 125, 203
Kaliaufnahme der Pflanzen 168, 171
Kalibedürfnis von Boden 167
— — Pflanzen 171, 174
Kalidünger, Anwendung 181
— Gewinnung 176
— Nebenbestandteile 173, 181
Kalidüngesalze 177
Kaliendlauge, s. Endlauge
Kalihaltige Düngemittel 166
Kalihaltige Gesteine 179
Kalikalk 197
Kali-Löslichkeit im Boden 6
Kalimagnesia, schwefelsaure 177, 183
Kalimangel, Blattfärbung durch 174
Kalirohsalze, Wirkung auf Boden 169, 182
— — — Jauchekonservierung 65
— — — Pflanzen 173, 182
Kalisalpeter 124, 128, 132
Kalisuperphosphat 203
Kalium 205
Kaliumsulfat 177
Kaliverbindungen, Wirkung 176
Kaliwirkung auf Ausbildung der Körner 172

Kaliwirkung auf Beschaffenheit des Bodens 167
— — — — Halmes 173
— — Fettbildung der Pflanzen 174
— — Kaligehalt der Pflanzen 118
— — Kalkgehalt des Bodens 170
— — Wassergehalt des Bodens 171
— in Stallmist 73
— — Jauche 75
Kalkabsorption im Boden 186
Kalkasche 196
Kalkbedürfnis von Boden 185
— — Pflanzen 190
Kalkdünger, Anwendung 198
— Gewinnung 193
— Wirkung 191
Kalk, gebrannter 194
— gelöschter 194
— präparierter 196
Kalkhaltige Düngemittel 185
— — Feinheitsgrad 195
Kalk-Kaligesetz 173, 192
— Konservierung des Stallmistes 61
— Löslichkeit im Boden 14
— Magnesiafaktor 192
— Phosphorsäurefaktor 146
Kalksalpeter 121, 132
Kalkstein, dolomitischer 194
Kalksteinmehl 194
Kalkstickstoff 122, 137
Kalkwirkung auf Ausnutzung der Pflanzennährstoffe 192
— — biologische Bodenbeschaffenheit 187
— — Boden 185
Kalziumzyanamid, s. Kalkstickstoff
Kalziumnitrat, s. Kalksalpeter
Kanalfäkalkompost 88
Karnallit 177
Kartoffel, Einfluß der Stickstoffwirkung auf Haltbarkeit 120
— — — — — Pflanzenart 119
— — — — — Stärkegehalt 119
Keimpflanzenmethode 17
Kieselsäure, Einfluß auf die Phosphorsäureabsorption 147
— in Branntkalk 195
Kieserit 178
— für Jauchekonservierung 65
Klärschlamm 198, 202
Kloakoano 88
Knochenasche 163
Knochenkohle 163
Knochenmehl 201
Knochenmehlammonsalpeter 125, 203
Knochenmehlsuperphosphat 203
Kohlensäuredüngung 27
Kohlensäuregehalt der Luft 27
— des Bodens 27
Kohlensäureproduktion 28
Kohlensäurewirkung 24
Kohlensaurer Kalk, Anwendung 199
— — gemahlen 194
Kolloidphosphat 161
Kompost 87
Komposterdemischung 204
Konservierung von Jauche 66
— — Stallmist 59
Konversionssalpeter 128
Kot 31
Kunstdünger 25
Künstliche Düngemittel 105
— — Anwendung, allgemeines 105
— — Einfluß auf die Bodenreaktion 112
— — Verbrauch 106
— — Wirtschaftlichkeit 108
Kupfer 205

Latrine 81
Leguminosen, Stickstoffdüngung 120
Leitfähigkeit des Bodens, elektrische 13
Leunakalk 197
Leunaphos 204
Leunasalpeter 125, 140, 204
Löschkalk 194
Lützeler Fleischguano 202

Magnesium 173, 205
Magnesiumphosphat 159
Magnesiumwirkung 113
Mangan 205
Martellin 181
Martinschlacke 160, 165
Mergel 194
— zur Stallmistkonservierung 61
Minimumgesetz von J. v. Liebig 2
Mischdünger 110, 203
Mist, s. Stallmist
Mistjauche 81
Monokalziumphosphat, Wirkung 154
Mont-Cenis-Verfahren 125

Nährstoffbedarf der Pflanzen 110
Nährstoffmangel 15
Nährstoffverbrauch 106
Nährstoffverhältnis der Pflanzen 111

Natrium 173, 205
Natriumammoniumsulfat 127
Natriumbisulfat zur Konservierung von Jauche 64
— — — — Stallmist 61
Natronammonsalpeter 125, 203
Natronsalpeter 124, 129
Natürliche Düngemittel 24
Neutralphosphat 158
Niederschläge, Stickstoffgehalt der — 116
Nitraginkompost 88
Nitrazol 138
Nitrifikation 188
— im Stalldünger 46
Nitrophoska 204
Norgesalpeter 121, 132
Normaldüngung, Beurteilung 110
Normalknochenmehl 201

Organische Stoffe 25
Osmotischer Druck der Bodensalzlösung 13

Palmaerphosphat 159
Perchlorat 129
Peruguano, aufgeschlossener 203
Pflanzenwachstumsgesetz 3
Phonolith 180
Phosphatgips 157
Phosphorsäure des Bodens, Absorption 142
— — — Aufschließung 144
— — — Einfluß der Düngesalze 149
— — — — des Kalkes 146
— — — — der Pflanzen 150
— — — — Löslichkeit 6
Phosphorsäurebedürfnis des Bodens 143
— der Pflanzen 152
Phosphorsäuredünger 142
— Gewinnung 156
Phosphorsäure-Löslichkeit, citratlöslich 154
— — citronensäurelöslich 155
— — wasserlöslich 154
— — zurückgegangen 157
Phosphorsäure-Wirkung 154
— — auf Ausbildung des Getreidekornes 152
— — — Phosphorsäuregehalt der Pflanzen 118
— — — Zusammensetzung der Pflanzen 153
— — in der Jauche 75
— — im Stallmist 73
Physikalische Bodenprüfung 13
Pottaschefabrikation, Rückstände 118
Poudrette 86, 202
Poudrette, Kasseler 88
Präparierter Kalk 196
Präzipitat zur Stallmistkonservierung 61
Putzmehl 201

Quecksilber 205

Reformphosphat 158
Rehmsdorfer organischer Stickstoffdünger 129, 192
Reibephosphat 161
Reizstoffe 205
Relative Löslichkeit der Bodennährstoffe 6
Rhenaniaphosphat 154, 160, 165
Rhodanammonium 133
Rhodanverbindungen 198
Rinderguano, ungarischer 202
Rohguano 202
Rohphosphat 161

Salpetersaurer Harnstoff 125
Salpetersuperphosphat 203
Salzsaures Ammoniak 124, 136
Sandmergel 194
Scheideschlamm der Zuckerfabriken 197
Schlempekohle 181
Schlickhumat 204
Schlickphosphat 204
Schlickstickstoff 204
Schlösingsalpeter 122, 132
Schröderphosphat 160
Schwefelsaures Ammoniak 124, 126, 133
— — als Kopfdünger 135
— — Wirkung auf Bodenreaktion 136
Schwefelsaurer Kalk 196
Schwefelsäure zur Konservierung von Jauche 64
— — — — Stallmist 61
Schwefelverbindungen 198
Schwemmkanalisation 87
Seetang 181
Sinterphosphate 160
Sodakalk 198
Spüljauche 81
Stalldünger, Stallmist 30, 50
— — Anwendung 67
— — Aufbewahrung 50
— — Beidüngung von Kunstdünger 76
— — Geldwert 83
— — Kaliwirkung 73
— — Konservierung 59
— — Menge 38

Stalldünger, Stallmist, Nährwirkung 71
— — Phosphorsäurewirkung 73
— — Stickstoffwirkung 71
— — Veränderung beim Aufbewahren 40
— — Verrottung 40
— — Wirkungswert 67
— — Zusammensetzung 38
Staßfurter Abraumsalze 177
Staubkainit 185
Steinkohlenasche 179
Stickstoffdünger, Anwendung 129
— Bedarf der Pflanzen 116
— — des Bodens 115
— Gewinnung 120
— — aus Luftstickstoff 121
— — — Steinkohlen u. ähnlichen Stoffen organischen Ursprungs 126
— natürlicher 127
— Wirkung 117
— — auf Blattentwicklung 111
— — — Kartoffel 119
— — — Leguminosen 120
— — — Proteingehalt der Pflanzen 118
— — — Wiesen 120
— — — Zuckerrüben 119
— Zusammensetzung 129
Stickstoffgehalt der atmosphärischen Niederschläge 116
Stickstoffhaltige Abfälle 128
Stickstoffkalk 122
Stimulationsstoffe 205
Stoppelsaat, Gründüngung 99
Stückkalk 199
Superphosphat, Anwendung 163
— Gewinnung 156
— Konservierung von Jauche 64
— — — Stallmist 61
— Reaktion 113, 157
— Wirkung 154
Superphosphatgips 158
— zur Konservierung von Jauche 64
Superphosphatgips zur Konservierung von Stallmist 61
Sylvinit 177

Talbotschlacke 160, 165
Tetrakalziumphosphat 159
Tetraphosphat 161
Thomasphosphatmehl, Thomasmehl 155, 159, 164
Tiefstalldünger 52
Tierische Exkremente, Menge und Zusammensetzung 30
Tonmergel 194
Tonnensystem 86
Torf zur Konservierung von Jauche 64
Trommelmehl 201

Unkrautvertilgung durch Kainit 185
Untersaat, Gründüngung 100
Ureaphos 204

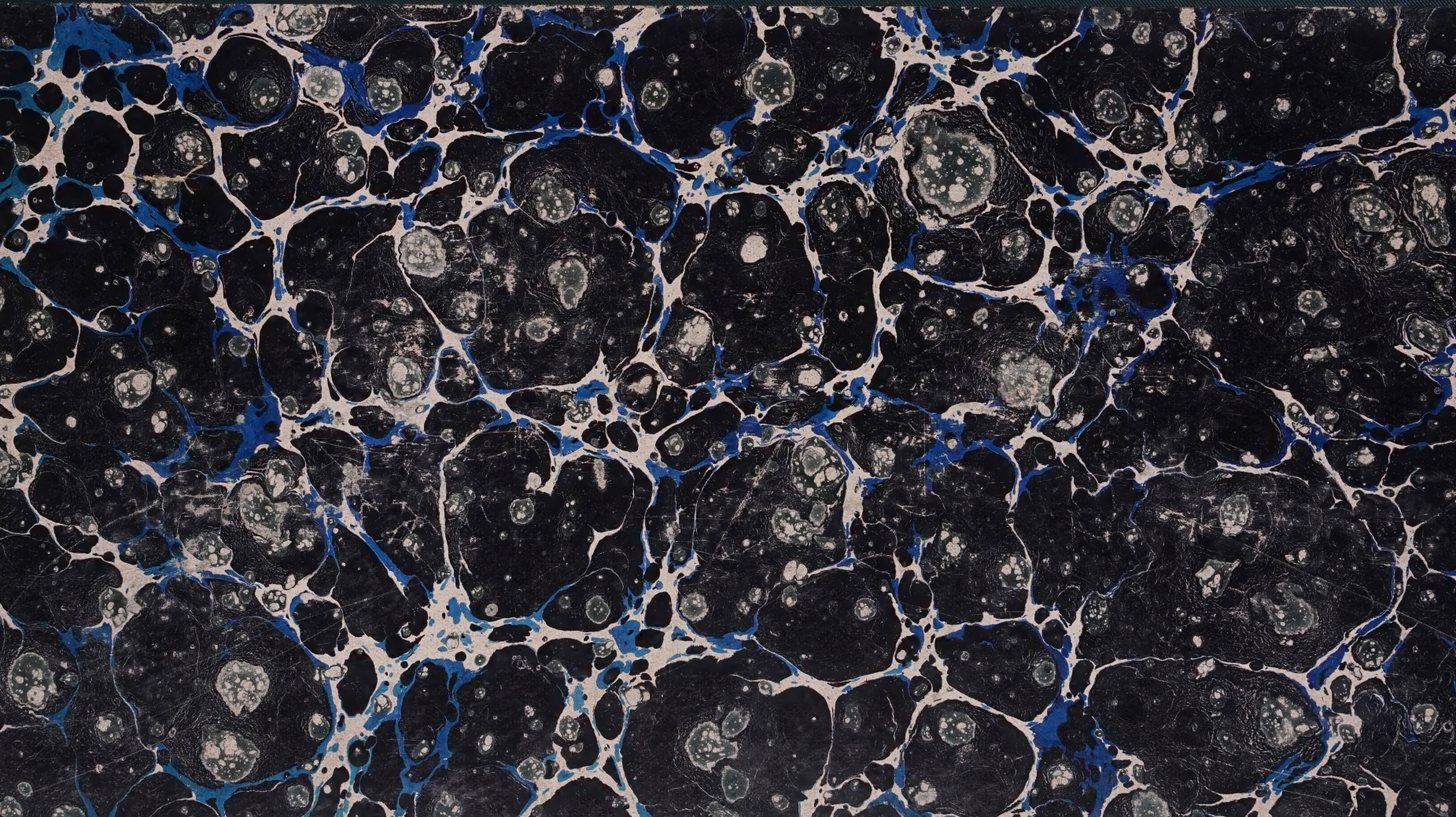
Verrottung des Stallmistes 40

Wasser, Bedeutung für die Wirkung der Düngemittel 22
Wasserlösliche Phosphorsäure 154
Wiborgphosphat 160, 165
Wiesenkalk 196
Wirkungsgesetz der Wachstumsfaktoren 2
Wirkungsverhältnis der Stickstoffformen 118
Wirtschaftsdünger 24
Wirtschaftlicher Wert chemischer Mittel zur Jauchekonservierung 67
Wollabfälle 129, 142
Woltersphosphat 160

Zuckerrübe, Stickstoffwirkung 119
Zurückgehen der Phosphorsäure 157
Zusammensetzung der Pflanzen unter dem Einfluß von Kali 118
— — — — — — — Phosphorsäure 118, 153
— — — — — — — Stickstoff 118
Zwischenfruchtbau, Gründüngung 99

223350
Agric.
Soil.
H.
Author Haselhoff, Emil and Blanck, Edwin (eds.)
Title Lehrbuch der Agrikulturchemie. Vol.2.

University of Toronto
Library

DO NOT
REMOVE
THE
CARD
FROM
THIS
POCKET

Acme Library Card Pocket
Under Pat "Ref. Index File"
Made by LIBRARY BUREAU